

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Aos meus pais.

*“O caráter não pode ser desenvolvido na calma e tranquilidade.
Somente através da experiência de tentativas e sofrimentos
a alma consegue ser fortalecida, a visão clareada,
a ambição inspirada e o sucesso alcançado”*

Helen Keller

RESUMO

Nos sistemas de fabrico, a flexibilidade é um dos requisitos fundamentais nos processos de produção para as empresas alcançarem uma capacidade de resposta diversificada face à variedade de produtos requeridos no mercado atual. As Células Flexíveis de Fabrico (CFF) são atualmente dos sistemas de produção mais sofisticados para produzir uma grande variedade de produtos, sem necessitarem da intervenção humana por longos períodos de tempo. A flexibilidade destes sistemas resulta da utilização de autómatos e computadores, para controlar e integrar estes processos de produção.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e melhorar a CFF que se encontra instalada na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV). No estudo da CFF foram desenvolvidas várias ferramentas de software e hardware para integrar e controlar todos os equipamentos de automação da célula, nomeadamente, os robôs industriais e as máquinas ferramenta de Controlo Numérico Computorizado (CNC). Nas ferramentas desenvolvidas implementou-se um sistema de tolerância a falhas e avarias, para garantir mais autonomia à célula e assim diminuir a intervenção humana. Foram também implementados sistemas de alarmes para a deteção e registo de intrusões e falhas ocorridas na CFF.

Desenvolveu-se uma página *web* com funções de *Human Machine Interface* (HMI) que possibilita o controlo e a monitorização em tempo real da CFF. Esta página permite verificar o desempenho de cada processo, os alarmes e avisos registados durante a fase de produção da célula. Também permite efetuar operações de controlo de produção e manutenção.

Por último, para aumentar a flexibilidade da célula, desenvolveu-se uma ferramenta de software que permite o envio de mensagens de texto para um telemóvel, sempre que ocorrem falhas ou avarias na CFF.

ABSTRACT

In manufacturing systems, flexibility is one of the fundamental requirements in production processes for companies to achieve a diversified capacity of answer, regarding the variety of products required by actual market. The Flexible Manufacturing Cells (FMC) are presently the most sophisticated production systems to produce a wide range of products without need of human intervention during long periods of time. The flexibility of these systems results from the use of logic controllers and computers to control and integrate these production processes.

This study aimed to develop and improve the FMC which is installed in the School of Technology and Management Viseu (ESTGV). On the FMC study have been developed several software and hardware tools to integrate and control all automation equipment of the cell, specially the industrial robots and Computer Numerical Control (CNC) machine tools. In developed tools was implemented a system of fail tolerance and breakdowns to ensure more autonomy to the cell and thereby reduce human intervention. Alarm systems have also been implemented for the detection and registration of intrusion and failure occurred in the FMC.

A web page with functions of Human Machine Interface (HMI) was developed which enables control and real time monitoring of FMC. This page allows to check the performance of each process, alarms and warnings logged during the cell production. Also allows to perform control operations of production and maintenance.

Finally, to increase the flexibility of the cell, was developed a software tool, which allows text messages to be send to a mobile phone, when failures or warnings happen on the FMC.

PALAVRAS CHAVE

Célula Flexível de Fabrico
Controlo Numérico Computorizado
Interface Homem-Máquina
Robótica
Automação Industrial
Controlo
Monitorização

KEY WORDS

Flexible Manufacturing Cell
Computer Numerical Control
Human Machine Interface
Robotics
Industrial Automation
Control
Monitoring

AGRADECIMENTOS

Aqui expresso a minha profunda gratidão a todos os que contribuíram para a realização da presente dissertação.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho, pela sua orientação, inteira disponibilidade, pelos momentos de aprendizagem e por todo o incentivo dado ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais que sempre primaram pela minha educação, um agradecimento muito especial por serem modelos de coragem, pelo seu carinho e dedicação, pelas suas palavras encorajadoras e de compreensão e total ajuda na superação dos obstáculos.

À Fundação Lapa do Lobo por me ter proporcionado desde o primeiro dia todo o apoio e constante dedicação ao longo destes anos. O meu muito obrigada por acreditarem nas minhas capacidades e pela forma como sempre me encorajaram, contribuindo decisivamente na conclusão de mais uma etapa.

À Senhora Teresa Cunha, um agradecimento especial pela sua confiança depositada, pelos valiosos conselhos partilhados e pelo seu inestimável apoio.

À minha irmã e irmão pelas constantes demonstrações de amizade e carinho e pelo seu apoio incondicional.

A todos o meu sincero Muito Obrigada.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE QUADROS	xxiii
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxv
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura da dissertação	2
2. Estado da arte.....	3
2.1 Automação Industrial.....	3
2.2 Modelo do sistema de fabrico	3
2.1 Funções de produção	5
2.2 Controlo numérico	6
2.2.1 Elementos do sistema NC.....	6
2.2.2 Sistema de coordenadas NC	7
2.2.3 Aplicações da tecnologia NC	8
2.2.4 Controlo numérico computadorizado.....	11
2.2.5 Controlo numérico direto	12
2.2.6 Controlo numérico distribuído	13
2.3 Sistemas flexíveis de fabrico	14
2.3.1 Definição dos SFF	15
2.3.2 Teste de flexibilidade.....	16
2.3.3 Tipos de SFF.....	16
2.3.4 Componentes de um SFF.....	19
2.4 CAD/CAM.....	27
2.4.1 CAD.....	28
2.4.2 CAM.....	28
2.4.3 CAD/CAM/CNC	29

3.	Desenvolvimento da CFF.....	31
3.1	<i>Layout</i> da CFF.....	31
3.2	Transportador	33
3.3	Setor de fabrico	37
3.3.1	Robô e controlador.....	38
3.3.2	Ferramenta de trabalho e sua composição	41
3.3.3	Máquinas CNC.....	43
3.3.4	<i>Buffer</i>	44
3.4	Setor de armazém	45
3.4.1	Robô e controlador.....	46
3.4.2	Ferramenta de trabalho e sua composição	48
3.4.3	Armazéns	49
3.4.4	Estação de descarregamento de peças.....	49
3.5	Sistema de controlo e sinalização local	50
3.6	Sistema de segurança e emergência local.....	51
3.7	Gestor da CFF	52
3.8	Microcomputador – Servidor <i>web</i>	53
3.8.1	Sistema de controlo e sinalização remoto	55
4.	Proposta de solução.....	57
4.1	Robô do setor de armazém	58
4.1.1	<i>Start/Stop</i> do setor de armazém	59
4.1.2	Supervisão das paletes MP.....	62
4.1.3	Sistema de armazém.....	65
4.1.4	Sistema de carregamento de paletes matéria-prima	67
4.1.5	Descarregamento e supervisão de Paletes PA.....	73
4.1.6	Sistema de emergência e segurança do setor de armazém.....	76
4.2	Robô do setor de fabrico	78
4.2.1	<i>Start/Stop</i> do setor de fabrico.....	79
4.2.2	Avárias e emergências das máquinas CNC.....	81
4.2.3	Descarregamento de Paletes MP.....	83
4.2.4	Máquina CNC Torno	86
4.2.5	Máquina CNC Fresa.....	91

4.2.6	Carregamento de Paletes PA	94
4.2.7	Sistema de emergência e segurança do setor de fabrico.....	96
4.3	Gestor da Célula Flexível de Fabrico	97
4.3.1	Gestor da CFF e Setor de armazém	99
4.3.2	Unidade de controlo do SA	103
4.3.3	Gestor da CFF e Setor de fabrico	104
4.3.4	Unidade de controlo do SF	107
4.3.5	<i>Start/Stop</i> da produção da fresa e torno.....	107
4.3.6	<i>Start/Stop</i> à CFF	108
4.4	Servidor <i>web</i>	109
4.4.1	<i>Interface</i> do servidor <i>web</i>	109
4.4.2	Menu principal.....	111
4.4.3	Menu “2D”	111
4.4.4	Menu “ARMAZÉM”	112
4.4.5	Menu “FABRICO”	114
4.4.6	Menu “CONTROLO”	116
4.4.7	Mensagens escritas – SMS	118
5.	Conclusão e trabalhos futuros.....	119
5.1	Conclusão.....	119
5.2	Trabalhos futuros	120
	Referências	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Estrutura do conceito CIM – <i>Computer Integrated Manufacturing</i> [3].	4
Figura 2-2: Modelo de uma instalação de fabrico [3].	5
Figura 2-3: Componentes básicos de um sistema NC. Fonte: adaptado de [1].	6
Figura 2-4: Sistema de coordenadas do sistema NC [1].	8
Figura 2-5: Tipo de operações de maquinação [1].	9
Figura 2-6: Configuração geral de um sistema DNC. Fonte: adaptado de [1].	12
Figura 2-7: Configuração DNC: rede de comutação. Fonte: adaptado de [1].	13
Figura 2-8: Configuração DNC: rede LAN. Fonte: adaptado de [1].	14
Figura 2-9: Tipos de sistemas de fabrico [3].	14
Figura 2-10: Célula de máquina [8].	17
Figura 2-11: Célula flexível de fabrico [8].	17
Figura 2-12: Sistema flexível de fabrico [9].	18
Figura 2-13: Operação de desbaste/perfuração [10] e [11].	19
Figura 2-14: Operação de torneamento dotada de uma estação automática de ferramentas [12].	20
Figura 2-15: Estação de ferramentas armazenada no interior de uma máquina CNC [13].	20
Figura 2-16: Sondas especiais de medição e visão máquina [14] e [15].	21
Figura 2-17: Configuração em linha [16].	23
Figura 2-18: Configuração em linha com sistema de transporte secundário [17].	23
Figura 2-19: Configuração em <i>loop</i> [16].	24
Figura 2-20: Configuração retangular [16].	24
Figura 2-21: Configuração <i>ladder</i> [16].	25
Figura 2-22: Configuração <i>open field</i> [16].	25
Figura 2-23: Configuração <i>robot-centered</i> [16].	26
Figura 2-24: Simulação CAM e simulação CAD de uma peça de trabalho desenvolvida na ESTGV a partir do software <i>Mastercam</i> .	29
Figura 2-25: Processo CAD/CAM/CNC. Fonte: adaptado de [6].	30
Figura 3-1: <i>Layout</i> da CFF.	32
Figura 3-2: Peça fresa e peça torno.	33
Figura 3-3: Configuração do transportador.	34
Figura 3-4: Configuração da paleta MP fresadora, PA fresadora, MP torno e PA torno.	34
Figura 3-5: Localização das peças metálicas.	35
Figura 3-6: Disposição dos sensores indutivos no setor de armazém e no setor e fabrico.	35
Figura 3-7: <i>Stoppers</i> do setor de armazém e do setor de fabrico.	36
Figura 3-8: <i>Stoppers</i> auxiliares do setor de armazém e do setor de fabrico.	37
Figura 3-9: Setor de fabrico.	38
Figura 3-10 Manipulador e volume de trabalho do robô IRB 140 da ABB® [19] e [20].	39

Figura 3-11: Controlador S4C com consola <i>Teachpendant</i> [24].	41
Figura 3-12: Ferramenta de trabalho robô IRB 140.	42
Figura 3-13: Estado do <i>gripper</i> .	42
Figura 3-14: Fresadora <i>EMCO</i> Concept Mill 155 [26].	44
Figura 3-15: Torno <i>EMCO</i> Concept Turn 55 [27].	44
Figura 3-16: <i>Buffer</i> do setor de fabrico.	45
Figura 3-17: Setor de armazém.	46
Figura 3-18: Robô IRB 1400 da <i>ABB</i> ® [28] e [29].	47
Figura 3-19: Ferramenta de trabalho robô IRB 1400.	48
Figura 3-20: Setor de armazém.	49
Figura 3-21: Estação de descarregamento de produtos acabados.	50
Figura 3-22: Constituição do sistema de controlo e de sinalização local instalado em cada setor.	51
Figura 3-23: Sensor ótico do sistema de segurança e emergência local.	52
Figura 3-24: Interface de comunicação do Gestor da CFF.	52
Figura 3-25: CPU 1214C AC/DC/Rly e módulo SM 1223 DC/DC [31].	53
Figura 3-26: Microprocessador <i>Raspberry</i> PI 2 [32].	54
Figura 3-27: Interface de comunicação do <i>Access Point</i> .	54
Figura 3-28: Adaptador USB TL-WN722N (a) e <i>router wireless</i> TL-WR841N (b) [33] e [34].	55
Figura 4-1: Sistema de controlo e integração da CFF.	57
Figura 4-2: Fluxograma do algoritmo da <i>Main</i> programa “ProgArmazem.prg”.	60
Figura 4-3: Fluxograma das rotinas “rTrap_Start” e “rTrap_Stop”.	61
Figura 4-4: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaSA” e “rConsola”.	61
Figura 4-5: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.	62
Figura 4-6: Peças caídas.	62
Figura 4-7: Fluxograma de funcionamento do sistema de supervisão de paletes MP.	64
Figura 4-8: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaPalete” e “rConsola”.	65
Figura 4-9: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”.	65
Figura 4-10: Fluxograma do sistema de Armazém Fresa.	66
Figura 4-11: Fluxograma do sistema de Armazém Torno.	67
Figura 4-12: Fluxograma da sub-rotina “rPaleteFresa”.	68
Figura 4-13: Exemplo do ficheiro “TempoDeCicloFresa.txt”.	68
Figura 4-14: Fluxograma da sub-rotina “rPaleteTorno”.	69
Figura 4-15: Exemplo do ficheiro “TempoDeCicloTorno.txt”.	69
Figura 4-16: Fluxograma da sub-rotina “rRegistaPecas”.	70
Figura 4-17: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.	70
Figura 4-18: Fluxograma da rotina “rFimPaleteFresa” e “rFimPaleteTorno”.	71
Figura 4-19: Fluxograma de funcionamento das sub-rotinas “rRegistaFresa” e “rRegistaTorno”.	71
Figura 4-20: Fluxograma de funcionamento da sub-rotina “rConsola”.	72

Figura 4-21: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”	72
Figura 4-22: Fluxograma da rotina “rTrap_Arm”	73
Figura 4-23: Fluxograma de funcionamento do mecanismo de descarregamento e de supervisão das paletes PA	74
Figura 4-24: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaPalete” e “rConsola”	75
Figura 4-25: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”	75
Figura 4-26: Fluxograma do programa “ProgAlarme.prg” e da rotina “rRegistaAlarme”	77
Figura 4-27: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”	77
Figura 4-28: Fluxograma do algoritmo da <i>Main</i> programa “ProgFabrico.prg”	79
Figura 4-29: Fluxograma das rotinas “rTrap_Start” e “rTrap_Stop”	80
Figura 4-30: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaSF” e “rConsola”	81
Figura 4-31: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”	81
Figura 4-32: Fluxogramas das rotinas “rTrap_Torno”, “rTrap_Fresa” e “rTrap_Manutencao”	82
Figura 4-33: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaSF” e “rConsola”	83
Figura 4-34: Exemplo do registo do aviso na Consola e no ficheiro “Avisos.txt”	83
Figura 4-35: Fluxograma do processo de descarregamento das paletes MP Torno	84
Figura 4-36: Fluxograma do processo de descarregamento das paletes MP Fresa	84
Figura 4-37: Fluxograma do processo de verificação das paletes MP Torno e Fresa	85
Figura 4-38: Fluxograma da sub-rotina “rRegistaPecas”	86
Figura 4-39: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”	86
Figura 4-40: Fluxograma do algoritmo de carregamento e descarregamento do torno	87
Figura 4-41: Fluxograma da rotina “rCarregaTorno”	88
Figura 4-42: Fluxograma da rotina de atualização do estado do <i>buffer</i> MP Torno e sub-rotina “rRegistaTorno”	89
Figura 4-43: Fluxograma da rotina “rDescarregaTorno”	89
Figura 4-44: Fluxograma da rotina de atualização do estado do <i>buffer</i> PA Torno e sub-rotina “rRegistaCNCTorno”	90
Figura 4-45: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”	91
Figura 4-46: Fluxograma do algoritmo de carregamento e descarregamento do Fresa	91
Figura 4-47: Fluxograma da rotina “rCarregaFresa”	92
Figura 4-48: Fluxograma da rotina de atualização do estado do <i>buffer</i> MP Fresa e sub-rotina “rRegistaFresa”	92
Figura 4-49: Fluxograma rotina “rDescarregaFresa”	93
Figura 4-50: Fluxograma da rotina de atualização do estado do <i>buffer</i> PA Fresa e sub-rotina “rRegistaCNCFresa”	93
Figura 4-51: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”	94
Figura 4-52: Fluxograma do processo de carregamento das paletes PA Torno	94
Figura 4-53: Fluxograma do processo de carregamento das paletes PA Fresa	94
Figura 4-54: Fluxograma do processo de verificação das paletes MP Torno e Fresa	95
Figura 4-55: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”	95

Figura 4-56: Exemplo do ficheiro “TempoFresa.txt”	96
Figura 4-57: Exemplo do ficheiro “TempoTorno.txt”	96
Figura 4-58: Fluxograma do programa “ProgAlarme.prg” e da sub-rotina “rRegistaAlarme”.	97
Figura 4-59: Exemplo do registo do aviso na Consola e no ficheiro “Alarmes.txt”	97
Figura 4-60: Estrutura de controlo da CFF.	98
Figura 4-61: Fluxograma das tarefas do setor de armazém para as paletes Torno.	100
Figura 4-62: Fluxograma das tarefas do setor de armazém para as paletes Fresa.	100
Figura 4-63: Fluxograma das paletes MP carregadas.	101
Figura 4-64: Fluxograma das paletes PA descarregadas.	102
Figura 4-65: Fluxograma de deteção dos produtos acabados descarregados.....	103
Figura 4-66: Fluxograma da unidade de controlo do setor de armazém.....	103
Figura 4-67: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes Torno.	105
Figura 4-68: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes Fresa.....	105
Figura 4-69: Fluxograma da paletes MP descarregadas e/ou incompletas.	106
Figura 4-70: Fluxograma das paletes PA carregadas.....	106
Figura 4-71: Fluxograma da unidade de controlo do setor de fabrico.....	107
Figura 4-72: Fluxograma da paragem de produção torno e fresa.	108
Figura 4-73: Fluxograma de paragem da CFF.	108
Figura 4-74: Fluxograma de início da CFF.....	108
Figura 4-75: Menu principal da página <i>web</i> da CFF.	111
Figura 4-76: Exemplo do Menu “2D”.....	112
Figura 4-77: Exemplo do Sub-menu “MP Fresa” do setor de armazém.....	113
Figura 4-78: Exemplo do Sub-menu “MP Torno” do setor de armazém.....	113
Figura 4-79: Exemplo do Sub-menu “Avisos” do setor de armazém.	114
Figura 4-80: Exemplo do Sub-menu “Alarmes” do setor de armazém.....	114
Figura 4-81: Exemplo do Sub-menu “PA Fresa” do setor de fabrico.....	115
Figura 4-82: Exemplo do Sub-menu “PA Torno” do setor de fabrico.....	115
Figura 4-83: Exemplo do Sub-menu “Avisos” do setor de fabrico.	116
Figura 4-84: Exemplo do Sub-menu “Alarmes” do setor de fabrico.....	116
Figura 4-85: Menu “CONTROLO”.	117
Figura 4-86: Exemplo de SMS enviados.	118

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1: Valores para a velocidade de corte e de avanço [6].	9
Quadro 2-2: Fatores de correção de velocidade de corte [6].	10
Quadro 3-1: Codificação das paletes.	35
Quadro 3-2: Principais características do robô ABB IRB 140 [21].	40
Quadro 3-3: Estado do <i>gripper</i> : combinação do estado lógico dos sensores indutivos.	43
Quadro 3-4: Principais características do robô ABB IRB 1400 [30].	47
Quadro 4-1: Interface Robótica (Entradas).	59
Quadro 4-2: Interface Robótica (Saídas).	59
Quadro 4-3: Interface Robótica (Entradas).	78
Quadro 4-4: Interface Robótica (Saídas).	78
Quadro 4-5: Interface Robótica com as máquinas CNC.	79
Quadro 4-6: Interface do PLC (Entradas) - Transportador.	98
Quadro 4-7: Interface do PLC (Saídas) - Transportador.	98
Quadro 4-8: Interface de comunicação PLC e servidor <i>web</i> .	110

ABREVIATURAS E SIGLAS

BTR	Behind the Tape Reader
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CFF	Célula Flexível de Fabrico
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CMU	Célula Máquina Única
CNC	Controlo Numérico Computorizado
DNC	Controlo Numérico Direto
DNC	Controlo Numérico Distribuído
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HMI	Human Machine Interface
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
MCU	Unidade de Controlo da Máquina
NC	Controlo Numérico
PLC	Programmable Logic Controller
SFF	Sistema Flexível de Fabrico
SMS	Short Message Service
SSID	Service Set Identification
SVG	Scalable Vector Graphics
USB	Universal Serial Bus
VDC	Voltage Direct Current
WAN	Wide Area Network

1. Introdução

Neste capítulo são apresentados os aspectos que motivaram a elaboração da presente dissertação, os objetivos de estudo, e por fim, o resumo de cada um dos capítulos deste trabalho.

1.1 Motivação

Atualmente, as empresas utilizam sistemas robotizados nas suas linhas de produção com o objetivo de melhorar a gestão dos recursos humanos, deslocando-os para outras áreas de produção onde são bastante úteis e de difícil substituição. Os mercados procuram cada vez mais produtos diversificados e originais onde a questão da flexibilidade é fundamental para responder a estas exigências do mercado. Para uma resposta criativa e inovadora às necessidades do mercado é necessário implementar sistemas de automação e robótica industriais altamente flexíveis e perfeitamente interligados que permitam ter sempre resposta para os vários tipos de exigência que são requeridos pelos consumidores.

Os sistemas flexíveis de fabrico (SFF), incluindo as células flexíveis de fabrico (CFF) são considerados como os sistemas de produção industriais mais sofisticados. Para além da sua capacidade de adaptação a novos produtos, estes sistemas perante a ocorrência de falhas ou avarias possuem mecanismo de tolerância, para que a produtividade do sistema de produção não seja totalmente comprometida.

Neste sentido, o trabalho proposto pretende estudar os ambientes de fabrico flexíveis e melhorar os vários setores da célula flexível de fabrico que se encontra no laboratório de Automação e Robótica.

1.2 Objetivos

Os objetivos da presente dissertação assentam no desenvolvimento de:

- Um sistema de fabrico, de armazenamento e de sistema de transporte;
- Um software de deteção e gestão do sistema de segurança;
- Um software de deteção e de tolerância a avarias e falhas para os setores da célula;
- Um software que permite a integração e o controlo dos robôs industriais, máquinas CNC e outros equipamentos de automação;
- Uma página *web*, com funções de uma HMI, que permita o controlo e monitorização da CFF, como também o acesso aos dados de produção, o desempenho das tarefas, e aos históricos de falhas e avarias ocorridas na CFF;
- Um sistema de sinalização por envio de SMS.

O texto da presente dissertação encontra-se redigido de acordo com o novo acordo ortográfico.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos onde é descrito o trabalho desenvolvido.

No primeiro capítulo são apresentadas as motivações e os objetivos pretendidos na realização deste trabalho.

No segundo capítulo é apresentada uma abordagem aos sistemas flexíveis de fabrico, aos sistemas de controlo numérico e por último ao sistema de desenho e fabrico assistido por computador (CAD/CAM).

No terceiro capítulo é descrito o problema e é apresentado um resumo dos equipamentos que constituem a CFF.

No quarto capítulo são apresentados os algoritmos propostos como solução, o respetivo funcionamento e a ferramenta desenvolvida para a HMI.

Por fim, no último capítulo, são apresentadas as conclusões gerais da dissertação e propostos os trabalhos futuros.

2. Estado da arte

2.1 Automação Industrial

O conceito de automação consiste num processo de controlo e de monitorização de atividades e de tarefas de forma autónoma. Nos sistemas industriais, a automação procura substituir a função humana em operar e controlar a produção.

Atualmente, nos sistemas de produção mais sofisticados, este trabalho é realizado por equipamentos de automação industrial, como robôs manipuladores, autómatos programáveis, sensores, equipamentos pneumáticos e hidráulicos, entre outros. Porém, é sempre necessária a intervenção humana para gerir e coordenar as operações de produção como também, realizar tarefas de carregamento de peças, descarregamento de produtos e operações de manutenção e reparação de equipamentos.

Isto significa, que a interação entre o trabalho humano e o trabalho executado pelos elementos de automação é inevitável, e cada vez mais recorrente. Esta realidade tem obrigado ao desenvolvimento de interfaces de comunicação e interação. Um sistema de produção deve englobar sistemas de interface homem-máquina (HMI) simples e intuitivos, que garantam a segurança dos operadores e a funcionalidade do sistema de produção [1] e [2].

2.2 Modelo do sistema de fabrico

Nestes últimos anos, o paradigma de mercado sofreu profundas alterações pelo que as empresas tiveram que adaptar e inovar todo o processo de produção desde o pedido do cliente

até à entrega do produto final. O mercado tornou-se mais exigente procurando produtos com maior qualidade a menor preço. Por outro lado, o tempo de vida comercial dos produtos reduziu-se significativamente e a sua configuração passou a ser definida, frequentemente pelo próprio cliente.

Perante estes desafios, as empresas necessitam de sistemas de produção cada vez mais flexíveis às necessidades do mercado e que ofereçam uma resposta rápida perante o tempo de vida dos produtos. Para que o sistema de produção seja o mais produtivo e eficiente é necessário obter informações rigorosas sobre todo o processo, desde o *design* até à produção. Uma organização hierarquizada do processo de fabrico, como apresenta a Figura 2-1, permite a troca de informação entre os vários níveis do sistema de fabrico. A partir de um sistema computadorizado e de um sistema de comunicação aplicado a todas as fases operacionais e ao processamento de dados é possível controlar e monitorizar todo o processo de produção tornando-o num sistema integrado [1] e [2].

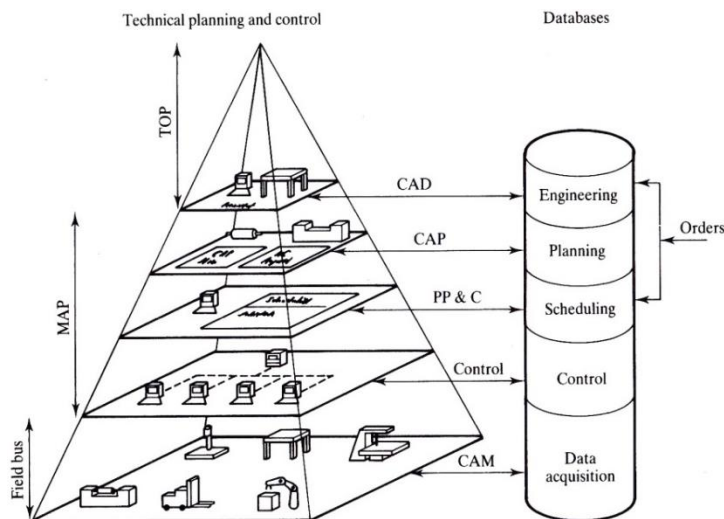


Figura 2-1: Estrutura do conceito CIM – *Computer Integrated Manufacturing* [3].

No modelo apresentado são ilustradas todas as atividades que um sistema de fabrico deve possuir, e como devem estar estruturadas. Na primeira camada, ou no topo, encontram-se as funções de engenharia e de *design* onde o produto é projetado e desenvolvido. Desta atividade, resulta o desenho ou o projeto do produto e a lista de materiais definidos para o seu fabrico. Na segunda camada é definido o plano do processo de fabrico, a montagem do produto e por fim as operações de inspeção e teste. Portanto nesta camada é realizado o planeamento do processo. Na terceira camada está o processo de sequenciamento. Para determinar o sequenciamento de tarefas é necessário o projeto do produto, a lista de materiais e o pedido do cliente, de forma a elaborar a sequência das operações envolvidas na produção do produto. A saída desta camada resulta no início da produção para as instalações de produção da fábrica. Na camada de controlo existe um sistema de controlo por computador em tempo real, responsável por controlar e iniciar as atividades de produção de acordo com os

parâmetros operacionais definidos. Todas as operações são monitorizadas por um sistema de aquisição de dados, nas máquinas ferramentas e nos sistemas de manipulação de materiais. Esta informação recolhida permite avaliar o estado do sistema de fabrico de acordo com os parâmetros operacionais definidos anteriormente [3].

2.1 Funções de produção

Num sistema de fabrico independentemente do volume de produção, existem cinco funções básicas: processamento, montagem, manipulação e armazenamento de materiais, controlo, inspeção e teste. A Figura 2-2 ilustra algumas das funções mencionadas [1] e [3].

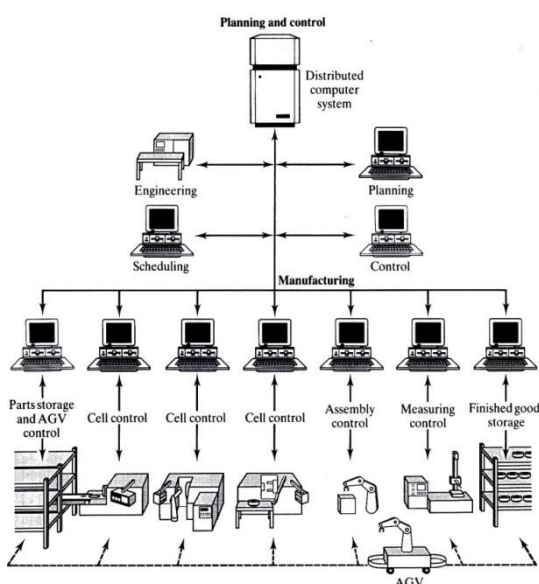


Figura 2-2: Modelo de uma instalação de fabrico [3].

- O **processamento** corresponde a um conjunto de operações que transformam uma peça de matéria-prima num produto. Esta função envolve operações básicas como, fundição de metal ou moldagem de plástico e operações secundárias como perfuração, torneamento e desbaste.
- A **montagem** consiste em operações mecânicas muito rápidas de junção de duas ou mais peças individuais que formam um produto, surgindo, geralmente, depois das operações de processamento.
- O **transporte e armazenamento de materiais** é responsável pelo transporte de peças entre as diversas estações de trabalho, de processamento e de montagem, e pelo armazenamento de matérias-primas ou de produtos acabados. Pode ainda armazenar temporariamente as peças em fila de espera para serem processadas.
- O **controlo** assegura a monitorização e a regulação de todas as operações individuais de processamento e de montagem por forma a garantir o desempenho da produção de acordo com os objetivos estabelecidos na fase de planeamento e de sequenciamento.

Esta função inclui a manutenção dos equipamentos, o transporte de materiais e de produtos acabados, e a gestão dos custos operacionais.

- As operações de **inspeção e teste** verificam se o produto ou as peças e trabalho cumprem com o projeto e as especificações estabelecidas na fase de planeamento e de engenharia e se o produto finalizado apresenta as características funcionais para o qual foi projetado, respetivamente.

2.2 Controlo numérico

O controlo numérico destina-se ao controlo das ações mecânicas de máquinas ferramentas e outros equipamentos a partir de um programa codificado em dados alfanuméricos. Esta é uma forma de automação programável. No programa, os dados codificados representam as diversas posições relativas entre o *workhead*¹ e a peça de trabalho², e as respetivas instruções de maquinação a executar pela máquina. Um sistema de controlo numérico (NC – *numerical control*) está capacitado para executar diversas operações de maquinação e trocar automaticamente as ferramentas de trabalho consoante a instrução do programa, sem necessitar da intervenção humana. Após concluído o processamento de uma peça o programa pode ser alterado para executar uma nova operação de processamento.

O sistema NC executa várias operações de processamento, sendo as mais comuns as operações de desbaste, perfuração e torneamento em máquinas ferramenta. Em máquinas não ferramenta pode executar operações de montagem, de acabamento e de inspeção. O sistema de controlo numérico permite uma maior flexibilidade do sistema de fabrico, menor tempo de produção, e maior qualidade com a diminuição dos erros humanos [1], [4] e [5].

2.2.1 Elementos do sistema NC

Num sistema NC existem três componentes básicos: a unidade de controlo da máquina; o programa de instruções e os equipamentos de processamento. Na Figura 2-3 é esquematizado o funcionamento dos componentes de um sistema NC.

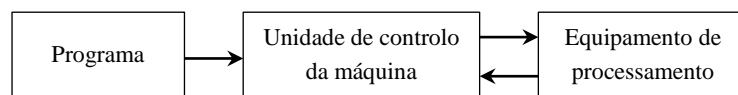


Figura 2-3: Componentes básicos de um sistema NC. Fonte: adaptado de [1].

A unidade de controlo da máquina (*machine control unit* - MCU) consiste num processador, responsável por armazenar o programa da peça e executar as instruções do programa, convertendo cada instrução numa ação mecânica nos equipamentos de processamento. A

¹ O *workhead* designa a ferramenta de trabalho numa máquina ferramenta.

² A peça de trabalho representa o objeto a processar/maquinar na máquina ferramenta.

informação contida no programa da peça é processada pelo MCU que converte a informação codificada do programa da peça num sinal de tensão ou de corrente, fazendo atuar os dispositivos que controlam a operação da máquina. Para cada instrução, a máquina envia um sinal de *feedback* para a unidade de controlo (MCU), para que as instruções sejam devidamente executadas de acordo com o programa da peça.

O programa de instruções contém passo a passo todos os comandos que correspondem às ações mecânicas a serem executadas pelos equipamentos de processamento. Nas máquinas ferramenta, cada comando do programa refere-se à posição relativa entre a ferramenta de corte e a base de trabalho, onde se encontra fixa a peça de trabalho. No programa de peça ainda se encontram definidas outras instruções, como a velocidade de rotação (*spindle speed*), a velocidade de avanço (*feed rate*) e a ferramenta de trabalho selecionada.

Os equipamentos de processamento são os que executam as operações mecânicas nas peças de trabalho. Estes equipamentos, como as máquinas ferramentas, transformam uma peça de trabalho num produto. A máquina ferramenta recebe as instruções de maquinação a partir da MCU e executa as respetivas operações mecânicas. Cada instrução é convertida num sinal digital, que é enviado para os controladores e motores que conduzem a mesa de trabalho relativamente ao eixo de rotação da ferramenta de corte. Em algumas aplicações a ferramenta de corte é conduzida relativamente à base de trabalho [1] e [5].

Inicialmente, a unidade de controlo da máquina NC era constituída por um controlador *hard-wired*. Atualmente, como todos os sistemas NC possuem microprocessadores, o sistema NC *hard-wired* é inexistente. Assim, quando é referido o termo NC também significa controlo numérico computadorizado (CNC – *computer numerical control*).

2.2.2 Sistema de coordenadas NC

Para programar as operações de processamento NC é necessário definir qual a posição da peça relativamente à ferramenta de trabalho. Para tal é utilizado um sistema de eixos padrão que define a posição relativa da peça de trabalho. No sistema de coordenadas NC existem dois sistemas de eixos, um para peças prismáticas e outro para peças rotacionais ou cilíndricas. Ambos os sistemas de eixos são baseados no sistema de eixos cartesiano. A Figura 2-4 exhibe o sistema de coordenadas para as peças prismáticas (à esquerda) e para as peças cilíndricas (à direita).

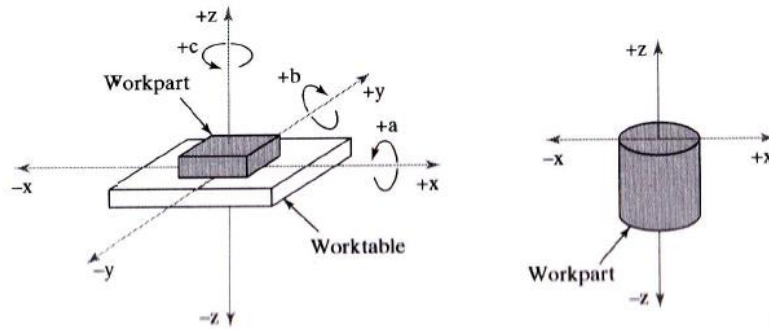


Figura 2-4: Sistema de coordenadas do sistema NC [1].

Os eixos de coordenadas para as peças prismáticas estão associados a operações de perfuração, desbaste e acabamento (*grinding*). No sistema de eixos para as peças prismáticas existem três eixos lineares (x , y e z) e três eixos rotacionais (a , b e c). Geralmente os eixos x e y são usados para posicionar e mover a mesa de trabalho da máquina ferramenta, onde está fixada a peça de trabalho. O eixo z é utilizado para definir a posição vertical da ferramenta de trabalho. Os eixos rotacionais a , b e c definem a posição angular dos eixos lineares x , y e z , respectivamente. Estes eixos permitem orientar a peça de trabalho e apresentar diferentes superfícies para maquinar.

Os eixos de coordenadas para peças rotacionais estão associados a operações de torneamento. Neste tipo de operação como o trabalho realizado é rotativo, então o eixo y não é utilizado. Assim, a posição da ferramenta de trabalho relativamente à peça de trabalho em rotação é definida no plano x - z , em que o eixo x representa a posição radial da ferramenta e o eixo z é paralelo ao eixo de rotação da peça.

Durante a fase de projeto de uma peça, é necessário definir qual a origem do sistema de coordenadas. É a partir da origem que a ferramenta de corte ou a peça de trabalho é movimentada de acordo com o programa da peça. Adicionalmente é necessário definir o ponto de destino (*target point*) que corresponde ao ponto onde o processo de maquinação para um dado segmento da peça termina. Este ponto é referenciado pelo programador à origem do sistema de coordenadas dos eixos cartesianos [1].

2.2.3 Aplicações da tecnologia NC

A maquinação é um processo de fabrico em que o trabalho geométrico de uma peça é produzido pela remoção do material em excesso. Este processo consiste no movimento da ferramenta de corte, em rotação, na peça de trabalho. Este processo é um dos mais aplicados na indústria dada a sua versatilidade para produzir diversos tipos de produtos. As operações de maquinação podem ser divididas em quatro tipos: torneamento (*turning*), furação (*drilling*), desbaste (*milling*) e retificação/acabamento (*grinding*). A Figura 2-5 apresenta cada uma das operações de maquinação mencionadas.

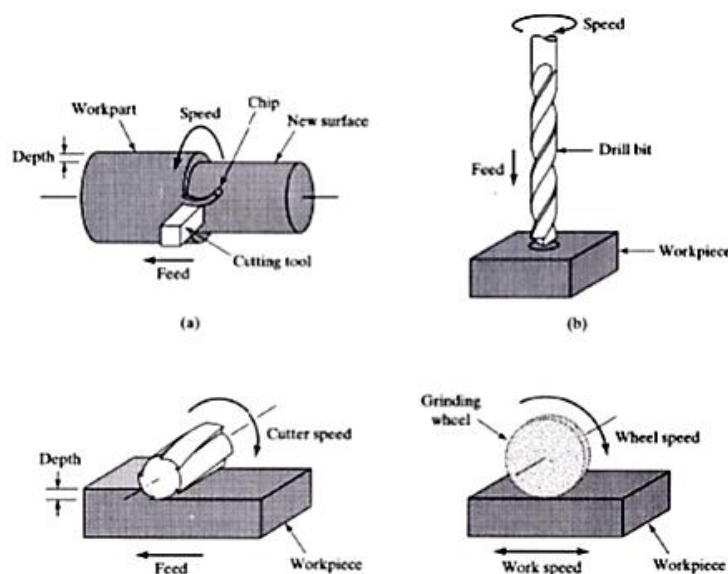


Figura 2-5: Tipo de operações de maquinação [1].

Para efetuar um processo de maquinação é necessário determinar os dados de corte, tendo em conta o material, para obter bons resultados na peça maquinada. No caso de operações de desbaste, a velocidade de corte é a velocidade relativa, entre a ferramenta de corte e a superfície da peça de trabalho que está a ser maquinada. Na programação de máquinas é necessário converter a velocidade de corte (m/min) na velocidade de rotação do eixo (rpm), recorrendo à equação (2-1).

$$S = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (2-1)$$

Onde,

S é a velocidade de rotação do eixo (rpm);

v é a velocidade de corte (m/min);

D é o diâmetro da ferramenta (mm).

Para determinar a velocidade de corte recorre-se ao Quadro 2-1, no qual é apresentado um intervalo, onde o limite inferior é para operações de desbaste e o limite superior é para operações de acabamento.

Quadro 2-1: Valores para a velocidade de corte e de avanço [6].

Material a maquirar	Velocidade de corte (v) [m/min]	Avanço por dente (f) [mm/dente]
Alumínio	70-100	0,05-0,1
Latão	50-70	0,05-0,1
Ferro fundido	25-40	0,025-0,05
Aço com baixo teor de carbono	30-40	0,025-0,05
Acrílico	20-30	0,035-0,075

Para corrigir as velocidades de corte em operações de torneamento é necessário recorrer a fatores de correção, sempre que a velocidade e/ou a profundidade de corte variem. A velocidade de corte corrigida por variações na profundidade de corte e nos avanços é determinada a partir da equação (2-2).

$$C_z = C_s \cdot Z_f \cdot Z_d \quad (2-2)$$

Onde,

C_z é a velocidade de corte corrigida;

C_s é a velocidade de corte normal;

Z_f é o fator de correção por variações de avanço;

Z_d é o fator de correção por variações na profundidade de corte.

No Quadro 2-2 apresentam-se os fatores de correção de velocidade de corte, apenas para as operações de torneamento.

Quadro 2-2: Fatores de correção de velocidade de corte [6].

Avanço (mm/rot)	Fator Z_f	Profundidade de corte (mm)	Fator Z_d
0,075	2,00	0,125	1,80
0,130	1,70	0,255	1,50
0,205	1,27	0,510	1,40
0,255	1,12	0,785	1,30
0,305	1,00	1,580	1,15
0,455	0,78	3,175	1,00
0,510	0,74	3,810	0,96
0,560	0,70	5,085	0,91
0,635	0,64	6,350	0,87
0,710	0,61	7,665	0,83
0,765	0,58	9,530	0,80
0,915	0,52	12,700	0,76
1,020	0,48	15,885	0,72
1,270	0,42	19,100	0,70
1,525	0,38	25,400	0,66

A velocidade de avanço (*feed rate*) traduz a velocidade de deslocamento lateral da ferramenta ao longo da peça de trabalho, ou seja, a velocidade da ferramenta contra a peça de trabalho. A partir da equação (2-3) é determinada a velocidade de avanço.

$$F = f \cdot Z \cdot S \quad (2-3)$$

Onde,

F é a velocidade de avanço (mm/min);

f é o avanço por dente (mm/dente);

Z é o número de dentes da ferramenta;

S é a velocidade de rotação do eixo (rpm).

Para operações de torneamento a velocidade de avanço é expressa em mm/rotação, dado o movimento lateral da ferramenta de corte por rotação da peça de trabalho. A profundidade de corte (mm) corresponde à distância a que a ferramenta de corte penetra na peça de trabalho, abaixo da superfície desta. A velocidade de corte, a velocidade de avanço e a profundidade de corte determinam o volume de material que é removido por unidade de tempo [1] e [6].

2.2.4 Controlo numérico computadorizado

O controlo numérico computadorizado (CNC – *computer numerical control*) é um sistema NC dotado de um microprocessador dedicado, que constitui a unidade de controlo da máquina (MCU). A implementação de um microcomputador adicionou as funções de armazenamento e de processamento de dados à tecnologia NC *hard-wired*. As máquinas ferramentas CNC são concebidas para maquinar automaticamente as peças de trabalho através do computador. Num sistema CNC o programa da peça é armazenado na memória da MCU e um software com algoritmos de controlo converte cada instrução do programa em ações mecânicas na máquina ferramenta, através da geração de pulsos para cada eixo do controlador.

Através do avanço tecnológico na área da computação digital, verificou-se uma redução significativa das dimensões e dos custos dos equipamentos CNC e o desenvolvimento das funcionalidades computacionais, tornando-o no sistema mais utilizado na indústria. Atualmente os equipamentos CNC incluem diversas funcionalidades, sendo as seguintes as mais comuns [1], [5] e [7]:

- **Armazenamento de programas.** Na tecnologia CNC, a capacidade de memória da máquina permite armazenar mais que um programa. A máquina CNC pode operar diretamente a partir da sua memória, o número de vezes necessárias e alternar entre os programas armazenados.
- **Edição do programa na máquina ferramenta.** A tecnologia CNC permite editar um programa já armazenado na memória da máquina ferramenta. No decorrer do processo de teste é possível efetuar as correções necessárias e alterar o programa a partir da consola da máquina. As alterações efetuadas são armazenadas na memória da MCU.
- **Simulação do projeto da peça.** O software de projeto de peças permite verificar por computador, a simulação do processo de maquinação. O software executa a leitura do programa e em função deste são apresentados os caminhos da ferramenta na peça de trabalho. Sem recorrer às máquinas ferramenta é possível corrigir e alterar o programa da peça.
- **Interface de comunicação.** A maioria dos controladores CNC estão equipados com um interface *standard* RS-232 que permite descarregar os programas das peças de trabalho a partir de uma base de dados, recolher dados operacionais e ainda comunicar com outros equipamentos periféricos, nomeadamente robôs industriais.

- **Diagnóstico.** Os sistemas CNC mais modernos possuem a capacidade de diagnóstico online. Esta característica aplica-se na monitorização de máquinas ferramentas para detetar avarias ou sinais de mau funcionamento.

2.2.5 Controlo numérico direto

O controlo numérico direto (*direct numerical control* - DNC) consiste no controlo de um conjunto de máquinas ferramenta a partir de um computador central (*mainframe*) conetado diretamente e em tempo real. O sistema DNC é uma tecnologia anterior ao sistema CNC e o primeiro aprimoramento do sistema NC *hard-wired* [5].

No DNC, o programa é transmitido diretamente do computador central para a máquina ferramenta, mais especificamente para a unidade de controlo da máquina (MCU). Esta operação é designada por *behind the tape reader* (BTR). O computador DNC é projetado para fornecer instruções a cada máquina ferramenta sempre que são solicitadas. Isto significa, que quando a máquina necessita de novas instruções executa um pedido ao computador DNC. Conforme cada bloco é executado, assim é transmitido um novo bloco de instruções, de cada vez. Cada máquina ferramenta transmite informação ao computador central DNC relativamente à *performance* do sistema fabrico, como por exemplo, o número de máquinas em operação, avarias e ciclos de maquinação finalizados.

O DNC, como mostra a Figura 2-6, consiste em quatro componentes: computador central, banco de memória para programas NC, grupo de máquinas e as linhas de comunicação que conetam as máquinas ao computador.

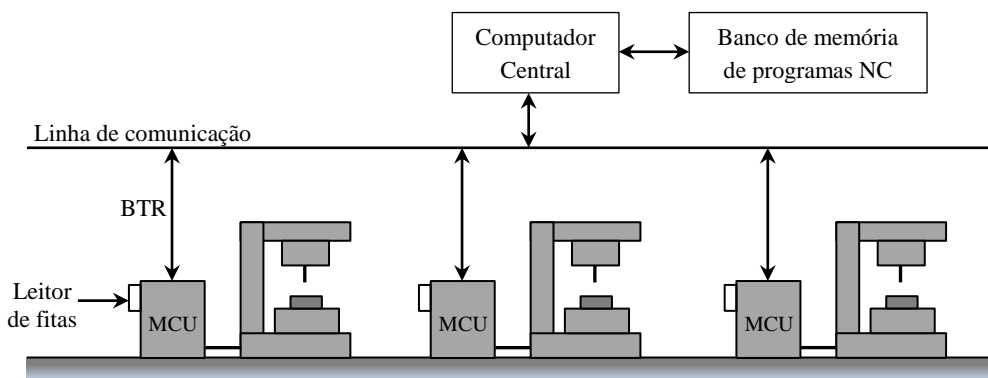


Figura 2-6: Configuração geral de um sistema DNC. Fonte: adaptado de [1].

Quando é iniciado um processo de maquinação, o computador central solicita o programa da peça ao banco de memória e envia um bloco de cada vez à respetiva máquina ferramenta. Este processo repete-se para todas as máquinas do sistema DNC [1].

2.2.6 Controlo numérico distribuído

O controlo numérico distribuído (DNC – *distributed numerical control*) é um aprimoramento do sistema de controlo numérico direto (DNC). A configuração de um sistema para o outro é similar. Contudo no sistema distribuído o computador central é conetado diretamente com o MCU de cada máquina ferramenta. Nesta configuração, os programas de peças são enviados completos para as máquinas ferramenta. No sistema NC distribuído existem duas configurações possíveis, que dependem do número de máquinas ferramenta: rede de comutação (*switching network*) e a rede LAN [1].

A configuração *switching network*, apresentada na Figura 2-7, é a mais simples do sistema DNC. Esta configuração utiliza um bloco de comutação de dados (*Data switching box*) que faz a conexão entre o computador DNC e as várias máquinas ferramenta CNC. A conexão é estabelecida por cabos RS-232-C e permite descarregar/carregar programas de peças. A utilização de um bloco de comutação de dados limita o número de máquinas no sistema DNC.

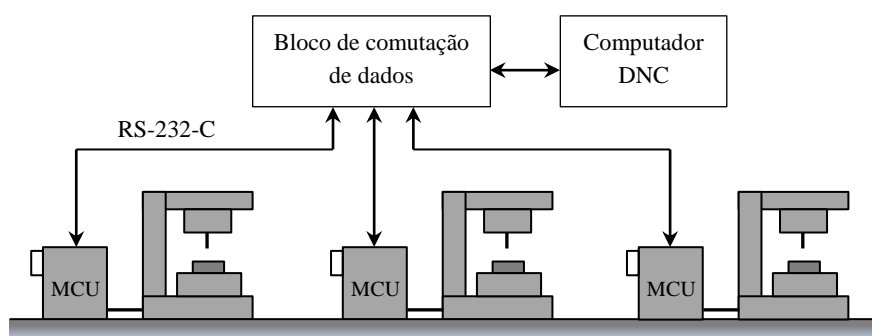


Figura 2-7: Configuração DNC: rede de comutação. Fonte: adaptado de [1].

Nas redes de área local (LAN – *local area networks*) o sistema DNC é organizado hierarquicamente, como é exibido na Figura 2-8. Um computador central (*host*³) coordena diversos computadores satélite, responsáveis por um conjunto de máquinas ferramenta [1].

³ *Host* ou hospedeiro, na informática, é um computador que fornece informações, aplicações, recursos e serviços a outros nós ou computadores conectados na mesma rede.

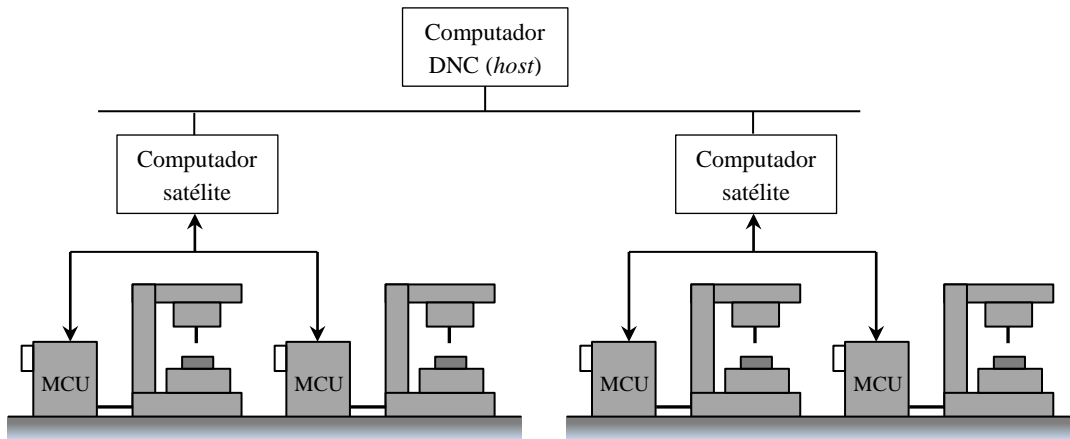


Figura 2-8: Configuração DNC: rede LAN. Fonte: adaptado de [1].

2.3 Sistemas flexíveis de fabrico

O sistema flexível de fabrico (FMS – *flexible manufacturing system*) é atualmente o sistema mais automatizado e sofisticado para responder eficazmente às alterações e exigências do mercado. Na Figura 2-9 são expostos os vários sistemas de fabrico, em função do volume de produção e da variedade de peças que podem ser produzidas em cada sistema.

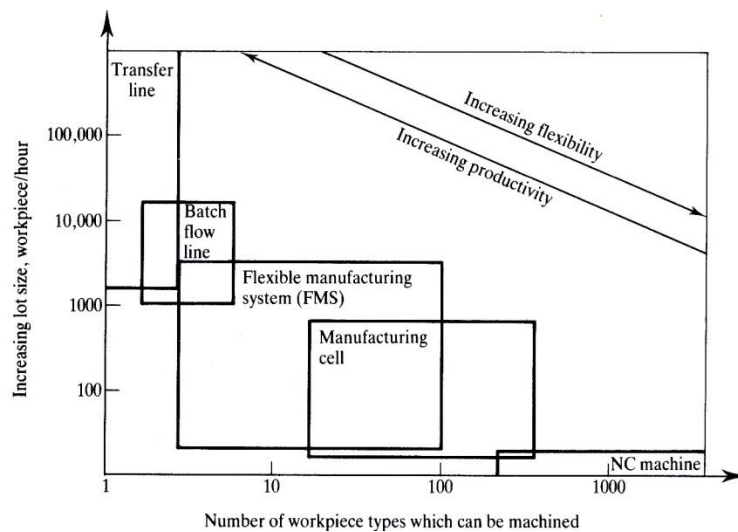


Figura 2-9: Tipos de sistemas de fabrico [3].

O sistema flexível de fabrico implica três parâmetros básicos: produtividade, qualidade e flexibilidade. A produtividade implica a utilização de equipamentos e materiais especializados no sistema de produção, como máquinas ferramentas CNC. Contudo o custo associado a este parâmetro é relativamente elevado pelo que deve ser assegurada a máxima utilização das

máquinas e dos outros equipamentos adquiridos, assim como a sua disponibilidade. Um sistema produtivo permite reduzir o inventário *in-process*⁴ e obter ciclos de produção curtos.

A qualidade num SFF é conseguida através de sistemas de automação. A qualidade implica a automação das operações de produção, nomeadamente de processamento, de montagem e ainda a automação dos sistemas de transporte e de manipulação. A qualidade do produto deve ser assegurada com a automação das operações de inspeção e teste das peças depois das operações de processamento.

A flexibilidade implica que um SFF seja capaz de produzir eficientemente para diversos volumes de produção e lidar com alterações ou variantes de um produto. Para garantir esta funcionalidade o tempo de reprogramação e troca de ferramentas deve ser minimizado, e se possível, reduzir as ferramentas de fabrico e utilizar ferramentas e equipamentos *standard* que permitem ao sistema adaptar-se mais facilmente a novos produtos [3].

2.3.1 Definição dos SFF

Um sistema flexível de fabrico (SFF ou FMS – *flexible manufacturing system*) é uma ou mais células de tecnologia de grupo altamente automatizadas, que consistem num grupo de estações de trabalho. As várias estações de trabalho encontram-se interligadas por um sistema automatizado de transporte e de armazenamento de material, controladas por um sistema de controlo computadorizado.

Uma célula de tecnologia de grupo permite reunir em famílias pequenos lotes de peças que partilham características semelhantes e por conseguinte processos de fabrico. Um SFF é projetado para produzir uma única família de produtos ou uma gama limitada de famílias, o que significa, que não é completamente flexível pois é planeado para produzir obedecendo a um intervalo de estilos de produtos e de processos.

A implementação de um SFF requer um investimento significativo na aquisição de novos equipamentos e na adaptação das infraestruturas já existentes. Contudo o SFF é uma tecnologia bastante sofisticada que apresenta benefícios substanciais nos sistemas de produção. Os benefícios de um SFF são [1] e [4]:

- Maior rentabilização das máquinas;
- Redução do número de máquinas necessárias;
- Redução da área necessária para a unidade de produção;
- Maior eficiência na capacidade de resposta para a produção de novos produtos;
- Melhor gestão e controlo das matérias-primas e produtos;

⁴ Do inglês *in-process* significa os processos que estão iniciados no sistema de fabrico mas que ainda não se encontram concluídos.

- Diminuição do tempo de produção e prazos de entrega;
- Maior qualidade e produtividade do trabalho;
- Capacidade de resposta a avarias ou falhas da produção;
- Redução da intervenção humana.

2.3.2 Teste de flexibilidade

A flexibilidade é um dos requisitos fundamentais na concepção de um SFF. A flexibilidade é o requisito que permite introduzir num sistema de fabrico novos estilos ou variações de produtos, sem comprometer a operabilidade do sistema de produção. O conceito de flexibilidade deve ser entendido como a capacidade de se adaptar a novos produtos dentro de um determinado nível de variações. Um sistema não pode ser designado como flexível por produzir uma variedade de peças. Para um sistema poder ser classificado como flexível deve compreender os seguintes critérios [1]:

- Teste de variedade de peças: O sistema pode processar diferentes estilos de peças sem ser em modo de lote.
- Teste de mudanças de cronograma: O sistema deve aceitar facilmente mudanças no cronograma de produção e mudanças no *mix* dos produtos ou na quantidade de produção.
- Teste de recuperação de erro: O sistema deve ser capaz de recuperar normalmente após ocorrer uma falha ou avaria no funcionamento do equipamento, para que a produção não seja completamente afetada.
- Teste de novos produtos: Os novos produtos devem ser facilmente introduzidos no *mix* de produtos já existentes.

Se um sistema de fabrico cumprir com todos os critérios, o sistema é classificado como flexível. Contudo o primeiro e segundo critério são os mais importantes no projeto de um SFF.

2.3.3 Tipos de SFF

Cada SFF é projetado para uma aplicação específica, ou seja, para uma determinada família de peças e de processos. Para uma grande variedade de produtos é provável encontrar uma grande variedade de sistemas. Os SFF podem ser divididos em vários tipos dependendo da sua funcionalidade. A seguir são apresentados os diversos tipos de sistemas [2].

Dependendo do número de máquinas

Os sistemas flexíveis de fabrico são distinguidos em três tipos de sistemas em função do número de estações de trabalho. Estes sistemas possuem um sistema de transporte que lhe permite carregar/descarregar peças das estações de trabalho. Também incluem um sistema de armazenamento de peças para assegurar uma produção contínua e armazenar peças e/ou

produtos acabados. Todos estes sistemas são totalmente automatizados e projetados para trabalhar por longos períodos de tempo, sem a necessidade de vigilância [1].

- Uma **célula máquina** (CMU ou SMC - *single machine cell*), como é apresentada na Figura 2-10, é constituída apenas por uma máquina CNC e é projetada para processar uma variedade de peças, mas não em simultâneo, pois o processamento é sequencial. Sempre que é necessário processar outro estilo de peças exige a reprogramação da máquina CNC.

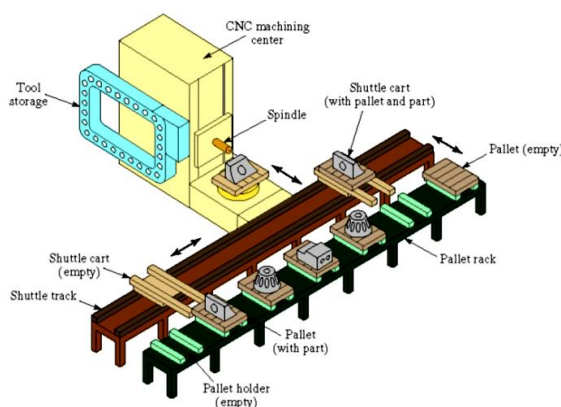


Figura 2-10: Célula de máquina [8].

- A **célula flexível de fabrico** (CFF ou FMC - *flexible manufacturing cell*), apresentada na Figura 2-11, engloba duas ou três estações de trabalho, geralmente dotadas de máquinas ferramenta CNC. Esta célula é concebida para produzir diferentes tipos de peças em simultâneo. O sistema de controlo computadorizado é mais complexo relativamente ao anterior dado o número de máquinas.

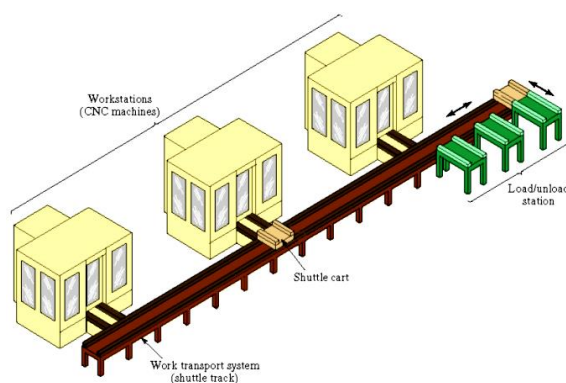


Figura 2-11: Célula flexível de fabrico [8].

- Um **sistema flexível de fabrico** (SFF ou FMS - *flexible manufacturing system*), apresentado na Figura 2-12, é constituído por quatro ou mais estações de trabalho conetados a um sistema de transporte comum. Geralmente possui estações de suporte à

produção, que desempenham operações de controlo e de inspeção. O sistema de controlo computadorizado é mais sofisticado, incluindo funções de diagnóstico e monitorização mais avançadas, não encontradas nas CFF.

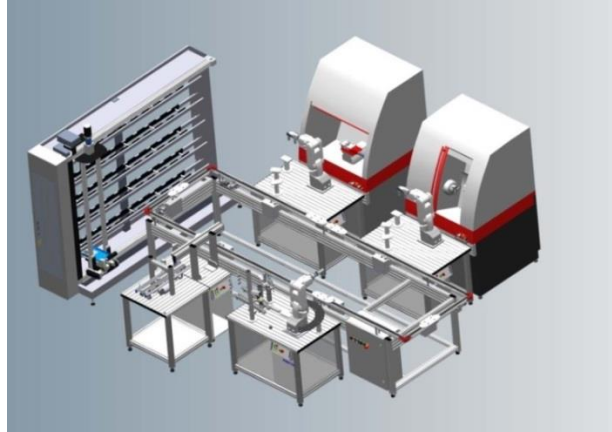


Figura 2-12: Sistema flexível de fabrico [9].

Todos os sistemas apresentados são projetados para integrar novos produtos nos processos e lidar com alterações no sequenciamento da produção.

Dependendo do nível de flexibilidade

Nos sistemas a seguir apresentados, é possível verificar que o SFF dedicado é um sistema projetado para ter uma produtividade elevada enquanto que o SFF de ordem aleatório é pensado para lidar com uma grande variedade de peças [1] e [4].

- O SFF **dedicado** é projetado para produzir uma gama limitada de estilos de peças, onde as diferenças geométricas são reduzidas e o *design* do produto é fixo, onde as peças partilham as mesmas operações de processamento. Este sistema é projetado com um nível de especialização elevado para tornar as operações mais eficientes. Assim, as máquinas que executam as operações de processamento são projetadas para processos específicos de uma gama limitada de peças. Este sistema permite aumentar a taxa de produção.
- O SFF de **ordem aleatória** é indicado para lidar com variações substanciais nas configurações das peças ou produtos. Por isso, é adequado quando a família de peças é grande ou quando são introduzidos periodicamente novos desenhos de peças. Este sistema é equipado com máquinas de uso geral para acomodar as variações do produto e processar as peças através de várias sequências (ordem aleatória).

2.3.4 Componentes de um SFF

Nos sistemas flexíveis de fabrico existem três componentes básicos: estações de trabalho; sistema de armazenamento e manipulação/transporte de material, e sistema de controlo computadorizado.

2.3.4.1 Estações de trabalho

Atualmente as estações de trabalho mais comuns são constituídas por máquinas ferramenta CNC responsáveis por executar diversas operações de maquinação. Contudo, as estações de trabalho começam a ser projetadas para desempenhar outros tipos de operações, como operações de controlo e inspeção.

Estações de processamento

Os centros de maquinação CNC consistem em máquinas altamente automatizadas capazes de executar diversas operações de maquinação sob controlo de um programa NC. Estas máquinas são caracterizadas por possuir características que lhe permitem facilmente lidar com mudanças no sistema de produção, recorrendo a estações automáticas de ferramentas e a uma interface DNC para descarregar os programas a partir de um computador principal. Os centros de maquinação CNC distinguem-se em dois tipos: centros de desbaste e perfuração e centros de torneamento [1], [3] e [4].

- Os **centros de desbaste/perfuração CNC** destinam-se à maquinação de peças prismáticas, Figura 2-13. Estes centros possuem a capacidade de maquinar peças de trabalho paletizadas. Neste caso, a peça está fixa na paleta, funcionando como base de trabalho da máquina ferramenta. Em algumas máquinas a peça é colocada na máquina por um robô manipulador e fixado por um equipamento hidráulico designado de *vice* [3].

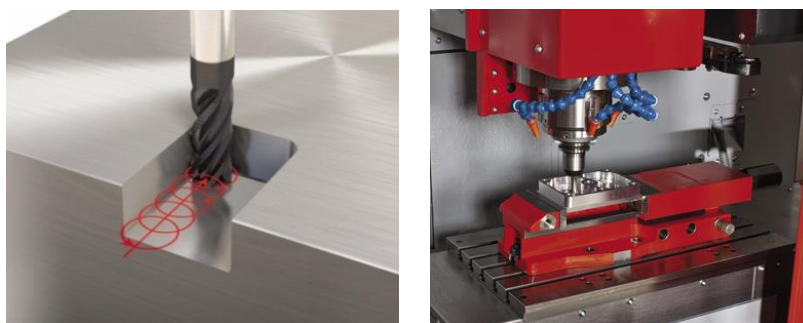


Figura 2-13: Operação de desbaste/perfuração [10] e [11].

- Os **centros de torneamento CNC** são utilizados para maquinar peças cilíndricas. Em operações de torneamento convencionais, a peça de trabalho roda contra a ferramenta que se encontra fixa na máquina, como mostra a Figura 2-14. Para a maioria das

operações de torneamento, as peças de trabalho estão fixas e o módulo de torneamento é projetado para rodar a ferramenta em torno da peça de trabalho. As peças de trabalho são colocadas nas máquinas de torneamento por um robô manipulador e são fixadas por um dispositivo hidráulico, designado de *chuck* [1] e [3].

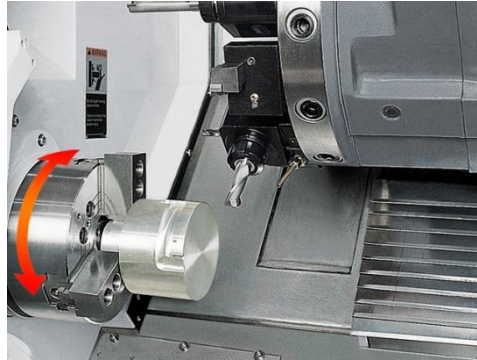


Figura 2-14: Operação de torneamento dotada de uma estação automática de ferramentas [12].

- As **estações automáticas de ferramentas** possuem múltiplas ferramentas de trabalho que são trocadas em função do programa da peça. As estações de ferramentas, geralmente adotam uma configuração em tambor e encontram-se dentro da máquina, como apresenta a Figura 2-15 [1].



Figura 2-15: Estação de ferramentas armazenada no interior de uma máquina CNC [13].

Estações de montagem

Os sistemas de montagem automatizados permitem substituir o trabalho manual na montagem de produtos tipicamente feitos em lotes. Para executar operações de montagem são frequentemente utilizados robôs manipuladores como uma estação de trabalho automatizada, sendo designada por sistemas de montagem flexíveis. Uma operação de montagem envolve, na maioria das aplicações, um conjunto de estações de trabalho, que sequencialmente montam várias peças que associadas criam um produto [1] e [4].

Estações de carga/descarga

As estações de carga/descarga são uma plataforma física entre o SFF e o resto da fábrica. As peças de trabalho são carregadas para o sistema e posteriormente descarregadas quando se encontram totalmente processadas. Quer a carga ou a descarga de peças podem ser efetuadas manualmente pelos operários ou de forma automatizada como parte do sistema de manuseamento de materiais. A estação é composta por uma unidade para a entrada de dados e por um monitor que estabelece a comunicação entre o operador e o sistema de controlo, permitindo monitorizar e controlar as peças que entram e saem do sistema. O monitor deve informar o operador quais as peças a serem carregadas na paleta para entrarem no sistema. Em caso de existir paletes distintas para diferentes produtos, o operador deve saber qual a paleta a entrar no sistema. Após o processo de carregamento estar concluído o sistema de manuseamento deve conduzir a paleta ao sistema de produção [1] e [4].

Estações de suporte

As estações de suporte são geralmente estações de inspeção onde são executadas várias tarefas, como testes de qualidade ao produto, como é apresentado na Figura 2-16. Contudo as estações de suporte podem compreender outras operações como estações de lavagem de peças ou de paletes, estações de acabamento, armazenamento temporário de peças e de paletes. A introdução de técnicas de inspeção são sobretudo necessárias nos sistemas de montagem flexíveis para assegurar a correta união dos componentes nas estações de montagem e assim garantir a qualidade do produto.



Figura 2-16: Sondas especiais de medição e visão máquina [14] e [15].

A inspeção pode ser feita adicionalmente na própria estação de montagem como numa estação projetada especificamente para estas operações. Atualmente distinguem-se três tipos de tecnologias utilizadas em operações de inspeção em SFF: máquinas de medição de coordenadas, visão máquina e sondas especiais de medição que podem ser colocadas no próprio fuso da máquina CNC [1] e [2].

2.3.4.2 Sistema de armazenamento e transporte de materiais

O sistema de armazenamento e transporte de materiais corresponde ao segundo maior componente dos SFF. Este componente é responsável pela deslocação de materiais entre as estações de trabalho e pelo seu armazenamento.

Sistema de armazenamento

Um sistema de armazenamento tem como função armazenar materiais e permitir o seu acesso sempre que estes materiais sejam solicitados. Num sistema de armazenamento podem existir diversos tipos de materiais armazenados, incluindo matérias-primas, peças de fornecedores, peças incompletas em *work-in-process*, produtos acabados e peças imperfeitas para retrabalhar. Num sistema de armazenamento não automatizado o trabalho humano é necessário em cada armazém para gerir e aceder aos materiais armazenados. Um sistema automatizado assegura mais eficazmente as funções de gestão e de controlo de materiais e também assegura o acesso ao armazém.

Geralmente, quando o número de peças por processar excede o número de peças que estão a ser transformadas, existe em cada estação de trabalho um sistema de armazenamento temporário, designado de *buffer*, responsável por armazenar, por curtos períodos de tempo, as peças que se encontram temporariamente por processar. O armazenamento temporário, em cada estação de trabalho, potencia a rentabilidade de utilização das máquinas [1], [3] e [4].

Sistema de transporte

Um sistema de transporte é responsável pela deslocação de materiais num SFF. Esta função deve assegurar os materiais certos, na quantidade certa, no local exato, sem nenhum dano. Num SFF o sistema de transporte pode compreender dois subsistemas: o sistema de transporte primário e o sistema de transporte secundário. Em alguns SFF o sistema de transporte secundário não é implementado. Nestas situações, a deslocação das peças nas estações de trabalho é assegurado pelo sistema de transporte primário [1].

- **Sistema de transporte primário.** É o sistema que define o *layout* do SFF e é responsável pelo encaminhamento de peças até às estações de trabalho, utilizando transportadores e robôs industriais.
- **Sistema de transporte secundário.** O sistema de manuseamento secundário é instalado em cada estação de trabalho e têm como funcionalidade transferir as peças de trabalho do sistema de manuseamento primário para as estações de trabalho. Este sistema tem a função de localizar e de colocar as peças com precisão e repetibilidade na estação de trabalho e se necessário reorientar a peça de trabalho. Adicionalmente, este sistema também pode formar um *buffer* em cada estação de trabalho destinado ao armazenamento temporário de peças de trabalho.

Para que um sistema de fabrico seja flexível, o sistema de transporte deve deslocar aleatoriamente as peças de trabalho entre estações. As peças devem conseguir deslocar-se de uma máquina para a outra, com a finalidade de criar várias rotas alternativas caso existam estações de trabalho ocupadas ou desativadas. O sistema de transporte também deve conseguir transportar uma variedade de configurações de peças de trabalho. Geralmente são usadas paletes de fixação modular para manusear peças prismáticas. As paletes de fixação modular são concebidas para acomodar diferentes configurações de peças. Para manusear peças rotacionais recorre-se sobretudo a robôs industriais para carregar e descarregar as peças de trabalho do torno e movê-las entre estações [1] e [4].

Configurações de *layout* de SFF

O sistema de transporte de materiais define a configuração de um SFF. As configurações podem dividir-se em [1]:

- Na configuração **em linha** as máquinas e o sistema de manuseamento estão dispostos em linha reta, como mostra a Figura 2-17. Os materiais progridem de uma estação de trabalho para a seguinte através do sistema de transporte primário com uma sequência bem definida. Nesta configuração os materiais são movidos apenas numa direção sem possibilidade de retorno. Esta situação pode ser melhorada com a instalação de um sistema de transporte linear bidirecional e de um sistema de transporte secundário em cada uma das estações de trabalho, como é apresentado na Figura 2-18.

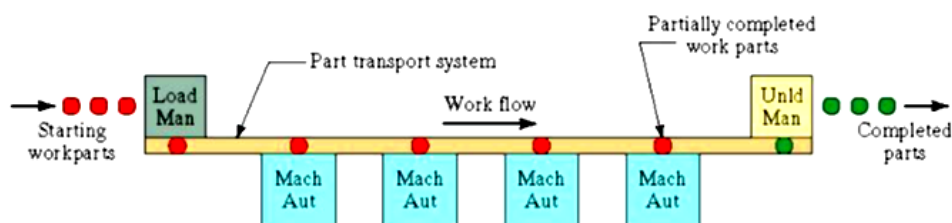


Figura 2-17: Configuração em linha [16].

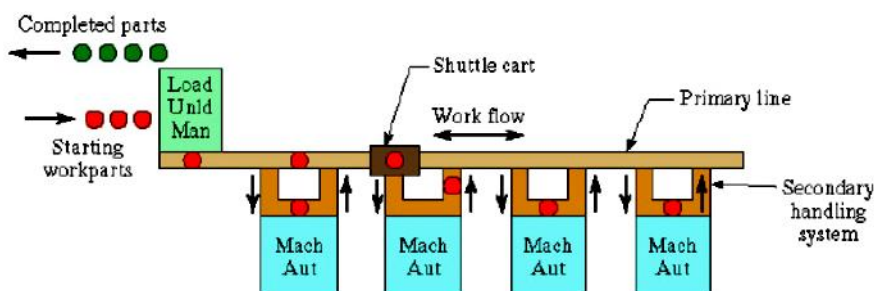


Figura 2-18: Configuração em linha com sistema de transporte secundário [17].

- Na configuração **loop**, apresentada na Figura 2-19, os materiais circulam apenas numa direção ao longo do circuito, podendo ser transferidos para qualquer estação de trabalho. Em cada estação de trabalho é instalado um sistema de transporte secundário

responsável pela transferência de materiais sem obstruir o sistema de transporte primário.

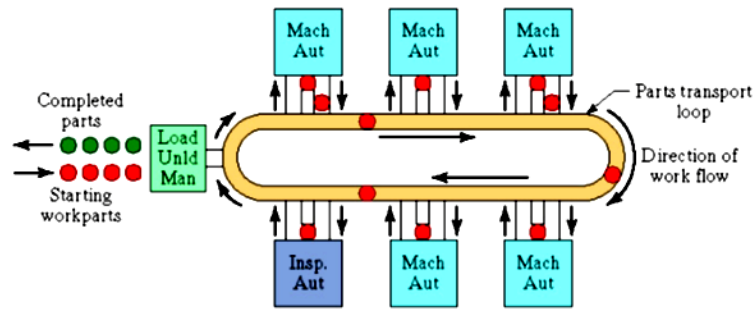


Figura 2-19: Configuração em *loop* [16].

- A configuração retangular, na Figura 2-20, é uma alternativa à configuração *loop*, em que uma estação efetua o carregamento e outra, o descarregamento de peças. Esta configuração é tipicamente utilizada para devolver as paletes descarregadas para a estação de carga.

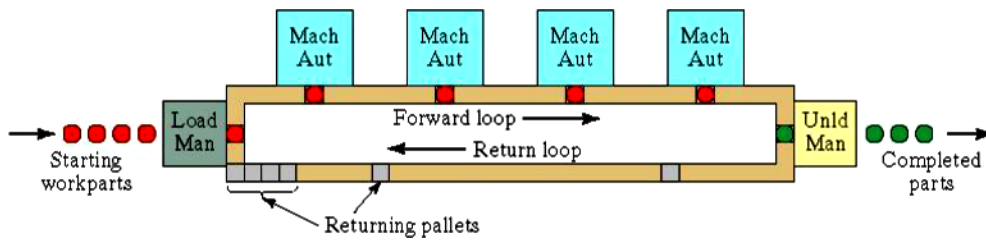


Figura 2-20: Configuração retangular [16].

- A configuração em *ladder* (escada) consiste num *loop* repartido em várias seções ou degraus onde estão localizadas as estações de trabalho, como é apresentado Figura 2-21. As seções permitem aumentar o número de rotas alternativas entre as estações de trabalho e minimizar o congestionamento das máquinas durante as operações de processamento. Para além disso, possibilita a diminuição da distância percorrida pelas peças de trabalho de uma estação para a outra e, por sua vez, o tempo de transporte entre as estações.

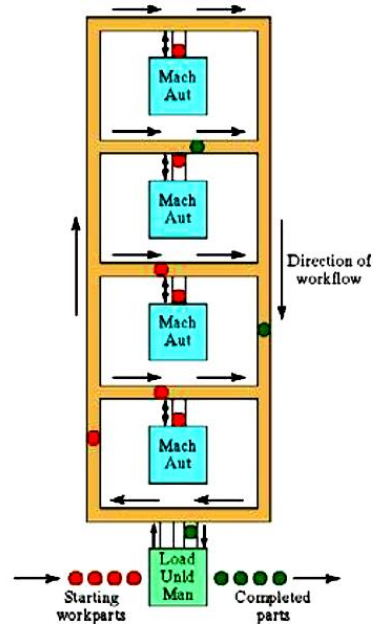


Figura 2-21: Configuração *ladder* [16].

- A configuração *open field* consiste na combinação de múltiplos *loops* e *ladders*, como é possível verificar da Figura 2-22. Esta configuração é projetada para processar e transportar uma grande variedade de famílias de peças. As peças a processar são encaminhadas para as estações de trabalho que se encontram disponíveis.

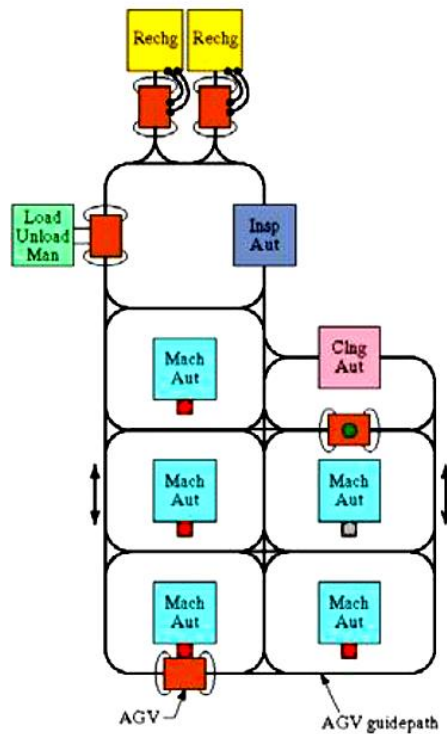


Figura 2-22: Configuração *open field* [16].

- A configuração **robot-centered**, exibida na Figura 2-23, utiliza robôs manipuladores no transporte de materiais. Os robôs são equipados com *grippers* (garras), o que os torna adequados na manipulação de peças de trabalho. Num SFF os robôs industriais são tipicamente aplicados nas estações de trabalho que exigem a manipulação de peças cilíndricas e nas estações de carga/descarga. Esta configuração pode incluir mais que um robô.

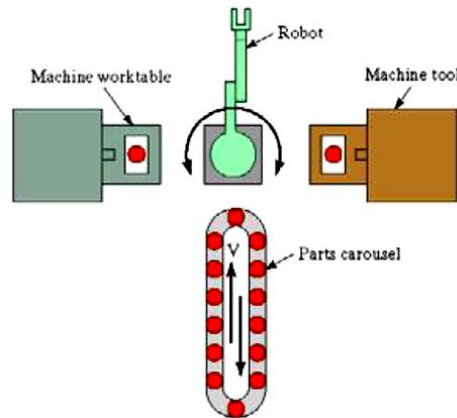


Figura 2-23: Configuração *robot-centered* [16].

2.3.4.3 Sistema de controlo computadorizado

Um sistema de controlo computadorizado tem como função controlar e monitorizar um SFF. Geralmente, um sistema computadorizado de um SFF, possui um computador central e outros microcomputadores (subsistemas) para o controlo individual de máquinas ferramenta e dos restantes componentes. Esta função também pode ser assegurada apenas por um computador para todos os componentes de um SFF. As funções executadas pelo sistema de controlo por computador do SFF podem ser agrupadas nas seguintes categorias [1] e [2]:

- **Controlo das estações de trabalho e distribuição das instruções de controlo para as estações de trabalho.** O sistema CNC permite o controlo individual de cada máquina ferramenta. Em estações de maquinação é utilizada uma *interface* DNC para carregar os programas das peças para as máquinas ferramenta. O sistema DNC permite armazenar e submeter programas, e ainda editar programas já existentes. Este controlo também inclui a deteção de falhas e avarias das máquinas
- **O controlo da produção** é responsável por gerir o *mix* de peças e a sua taxa de produção no sistema. A gestão desta função depende da taxa de produção diária pretendida, o número de peças de trabalho disponíveis (matéria prima) e o número de produtos acabados. A função de controlo também alerta para possíveis falhas no sistema, peças mal colocadas e instruções de produção para carregar as peças de trabalho ou descarregar o produto final.
- **O controlo de tráfego** gere o sistema de transporte primário e por sua vez o transporte de peças entre as estações de trabalho. Este controlo bloqueia a circulação das peças

nos locais de transferência para as máquinas ferramentas e ainda ativa a deslocação de paletes para carregar/descarregar as estações de trabalho.

- O **controle de transporte** (*Shuttle*) é responsável por controlar o sistema de transporte secundário em cada estação de trabalho. Este sistema em cada estação deve estar coordenado com o sistema de transporte primário e sincronizado com a máquina ferramenta.
- A **monitorização das peças de trabalho** deve monitorizar o estado de cada palete que circula no sistema de manuseamento secundário e ainda o estado de cada tipo das várias peças de trabalho.
- O **controle da ferramenta** gere as ferramentas de corte requeridas nas operações de maquinação e monitoriza a vida útil de cada ferramenta. Se uma determinada ferramenta necessária a uma operação de maquinação não se encontra disponível, o controlo da ferramenta encarrega-se de procurar uma estação de trabalho alternativa que possua a mesma ferramenta e notifica o operador qual a ferramenta de corte em falta. A monitorização da vida da ferramenta consiste na comparação do tempo de operação de uma dada ferramenta com o tempo de vida especificado para essa mesma ferramenta. Quando o tempo de operação acumulado atingir o alcance de vida especificado o operador é notificado para proceder à sua substituição.
- A **monitorização e reporte do desempenho** permite recolher periodicamente dados sobre as variáveis de operação do sistema. Através do processamento destes dados são preparados relatórios para a gestão do desempenho do SFF.
- O **diagnóstico** permite identificar, em caso de falha, a possível fonte do problema. Esta função também é utilizada para programar uma manutenção preventiva do sistema e identificar falhas iminentes. O objetivo desta função é reduzir o tempo de inatividade e aumentar a disponibilidade do sistema.

2.4 CAD/CAM

A tecnologia CAD/CAM representa um dos aspetos mais importantes de apoio à produção e projeto de um produto. O projeto de um produto desempenha uma importante função nos sistemas de produção. Para além de determinar o sucesso comercial este determina o planeamento do sistema de fabrico. O sistema CAD/CAM é representado por software e é utilizado para projetar um produto e simular o seu processamento. A parte do software CAM utiliza os modelos produzidos em CAD para gerar um programa NC, que contém os caminhos da ferramenta que transformam os projetos em produtos físicos. Geralmente, o software CAD/CAM é mais utilizado para operações de maquinação em máquinas ferramenta.

2.4.1 CAD

O desenho assistido por computador (CAD – *computer aided design*) é um sistema computacional utilizado na engenharia para criar, modificar, analisar, e documentar desenhos técnicos de objetos ou produtos. Os modelos geométricos produzidos em CAD são exibidos num monitor de computador como uma representação tridimensional, que possibilita ao projetista verificar os objetos sob uma grande variedade de representação.

O sistema CAD ainda beneficia de um software de gerenciamento de dados de produto (PDM – *product data management*) que tem como função gerenciar e armazenar a informação relativamente ao projeto (ou desenho) de um produto. O sistema PDM estabelece uma *interface* entre o projetista e uma base de dados central, onde toda a informação do projeto e a respetiva documentação é armazenada.

Um dos benefícios que o sistema CAD apresenta é a maior produtividade do projeto, dado que o tempo necessário para conceituar e desenhar um produto é muito mais reduzido. Por outro lado, o sistema CAD permite aumentar a qualidade do projeto e otimizá-la, pois trata-se de um sistema que executa uma análise de engenharia mais completa ao produto desenhado. Este sistema também é concebido para desenvolver uma documentação mais completa relativamente ao projeto de um produto, traduzindo-se no desenho de um objeto mais rigoroso, com menos erros, e de fácil leitura [1].

2.4.2 CAM

Um sistema de fabrico assistido por computador (CAM - *computer aided manufacturing*) é uma tecnologia computacional utilizada no planeamento dos processos de fabrico. O software CAM é responsável por representar as operações de processamento de um produto, a partir do modelo geométrico produzido em CAD. O sistema CAM é frequentemente associado a operações de maquinação, que consiste na remoção de matéria da peça de trabalho de acordo com a geometria do produto.

A partir de terminais gráficos, como monitores de computadores, é simulado o processo de maquinação de um produto, sendo possível observar os percursos das várias ferramentas e a sequência das várias operações de maquinação. Através desta simulação é possível detetar erros, alterar as ferramentas de corte, modificar a sequência das operações, entre outros.

O software CAM utiliza os dados do modelo geométrico de um produto para controlar máquinas CNC. O CAM converte os modelos geométricos das peças, geradas em CAD, num programa de controlo numérico, destinada a conduzir máquinas ferramenta CNC e robôs industriais. O CAM é responsável pela introdução do projeto da peça (CAD) no processo de produção. Por isso, os sistemas CAD/CAM são associados a processos de *design* e de fabrico [1] e [18].

2.4.3 CAD/CAM/CNC

O sistema CAD/CAM conjuga na mesma tecnologia as funções de *design* e as funções de fabrico. O sistema CAD é responsável por criar, analisar e documentar o desenho de uma peça, simultaneamente auxiliado pelo sistema CAM. Por sua vez, o sistema CAM programa e simula as trajetórias das ferramentas a partir do desenho geométrico produzido em CAD [1]. Na Figura 2-24 é apresentado uma simulação desenvolvida em CAD/CAM para uma peça de trabalho, onde são simulados os percursos da ferramenta de trabalho b), a partir do projeto da peça a).

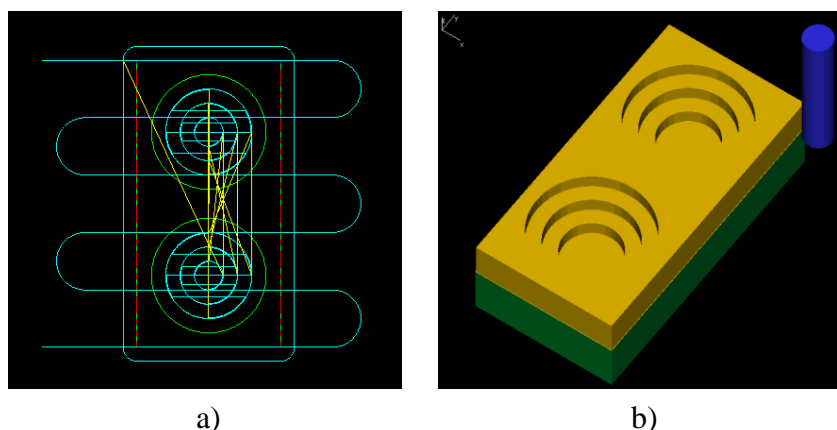


Figura 2-24: Simulação CAM e simulação CAD de uma peça de trabalho desenvolvida na ESTGV a partir do software *Mastercam*.

A Figura 2-25 apresenta a sequência do processo CAD/CAM/CNC envolvido no fabrico de um produto. O CAD permite criar o modelo geométrico de uma peça e o CAM possibilita simular o processo de maquinação do produto. A combinação CAD/CAM permite verificar se a peça simulada em CAM corresponde às especificações geométricas modeladas em CAD. A partir do sistema CAD/CAM é gerado o programa NC, que contém as instruções e coordenadas para a maquinação da peça projetada.

A fase de projeto é fundamental num processo de fabrico pois permite detetar possíveis anomalias antes de maquinação de uma peça de trabalho. Isto significa, que a operabilidade de uma máquina CNC não é interrompida para testar o programa da peça. Por outro lado, a continuidade do processo de produção já existente não é afetada. Um programa NC antes de ser enviado para as máquinas CNC, deve ser testado durante a fase de projeto, resultando daí a combinação CAD/CAM nos sistemas de fabrico.

No CAM o pós-processador é responsável por criar o programa NC. O ficheiro com o programa é armazenado no controlador da máquina CNC e durante a execução da peça cada instrução do programa é convertida numa ação mecânica na máquina ferramenta.

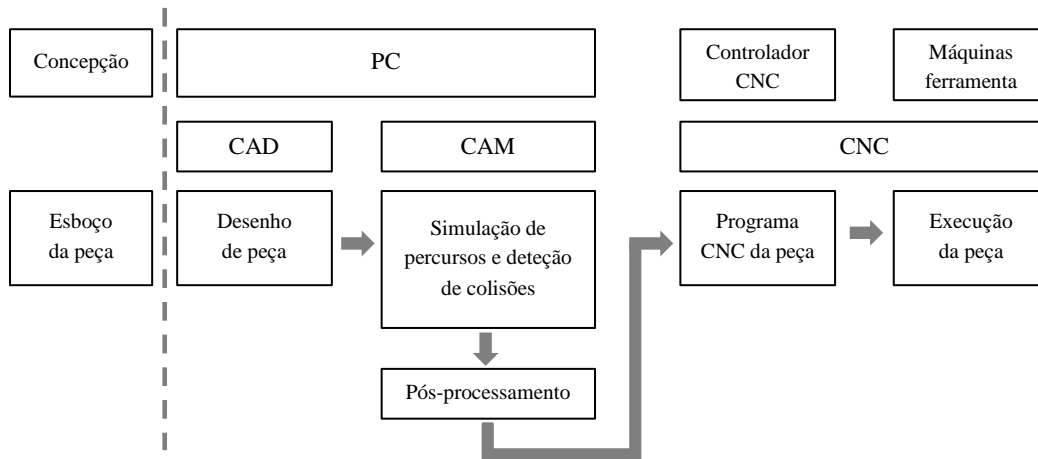


Figura 2-25: Processo CAD/CAM/CNC. Fonte: adaptado de [6].

3. Desenvolvimento da CFF

Neste capítulo é apresentada a composição da CFF em estudo e uma breve descrição do hardware instalado. Todos os equipamentos de Automação Industrial, nomeadamente os robôs manipuladores, as máquinas CNC e o transportador já se encontravam instalados no laboratório, pelo que as tarefas propostas foram pensadas para garantir a melhor rentabilização dos equipamentos, sem efetuar alterações significativas na CFF.

3.1 *Layout da CFF*

Como referido anteriormente, foi proposto o estudo da CFF do laboratório de Sistema de Controlo e Automação da ESTGV. O objetivo de estudo foca-se no desenvolvimento da CFF com funcionalidades que garantam a automatização do funcionamento da célula, com a possibilidade de monitorização e controlo remoto através de uma página *web*.

Os equipamentos que constituem a CFF já se encontravam anteriormente instalados pelo que as soluções propostas foram pensadas para garantir o melhor desempenho dos sistemas projetados. Na Figura 3-1 é apresentada a CFF do laboratório de Sistema de Controlo e Automação. Como se pode verificar, a célula de fabrico é constituída por três setores: setor de transporte (ST), setor de fabrico (SF) e o setor de armazém (SA). A CFF ainda possui uma estação de descarregamento de produtos acabados que está englobada no setor de armazém.

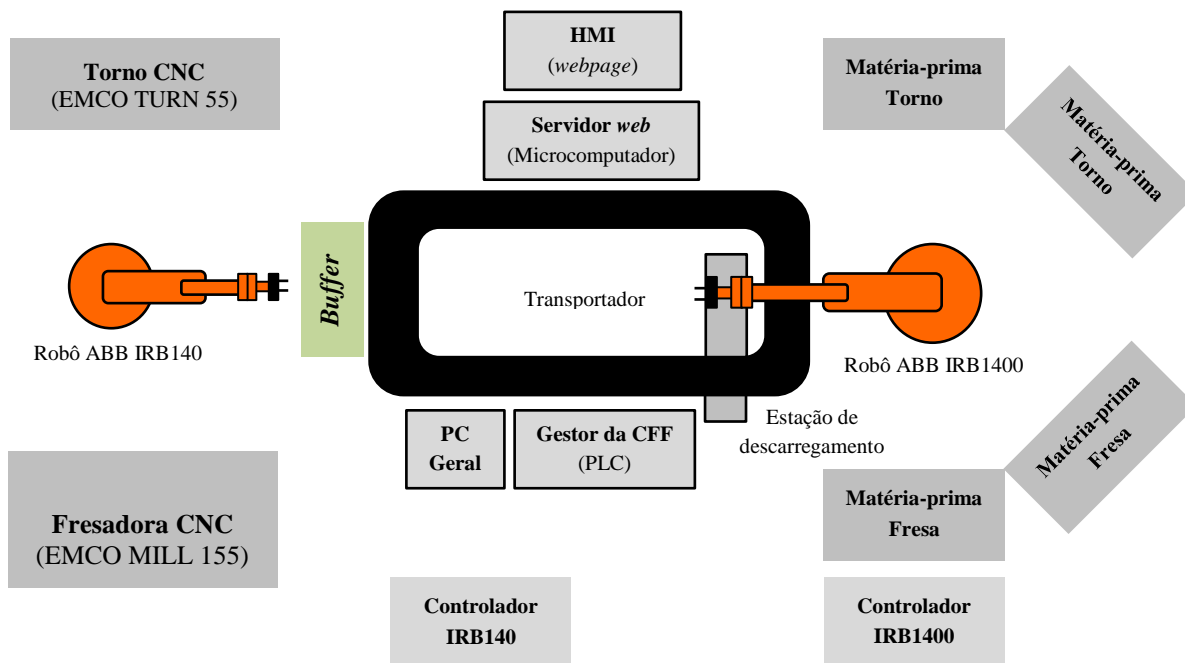


Figura 3-1: *Layout* da CFF.

O transportador é o setor responsável por transferir as peças entre os dois setores da célula. Uma das particularidades deste projeto é a existência de duas peças de trabalho geometricamente distintas, peças prismáticas e peças cilíndricas, destinadas a diferentes operações de maquinação. Esta característica da CFF implica a existência de quatro paletes no transportador, duas paletes PA e duas paletes MP para o transporte de produtos acabados e de matérias-primas, respetivamente, para cada estilo de peça.

No setor de armazém encontram-se armazenadas as matérias-primas. Neste setor as paletes MP são carregadas, e de seguida, são encaminhadas ao longo do transportador para o setor de fabrico. Quando estas paletes chegam o setor de fabrico, as matérias-primas são descarregadas num *buffer* específico destinado às peças de trabalho. As peças são maquinadas uma de cada vez e colocadas num *buffer* destinado a produtos acabados. Quando o processamento das peças de trabalho de uma paleta é concluído o setor de fabrico executa o carregamento da paleta PA, assim que esta paleta chegar ao setor. Seguidamente, a paleta PA é reencaminhada para o setor de armazém, onde os produtos acabados são descarregados na estação de descarregamento.

Após a descrição do funcionamento pretendido para a CFF é necessário conhecer o objeto em estudo, pois é sobre este que serão projetadas as principais tarefas da CFF. Neste projeto, o objeto em estudo são as peças de trabalho apresentadas na Figura 3-2. Como é possível verificar existem dois tipos de peças distintas, torno a) e fresa b).

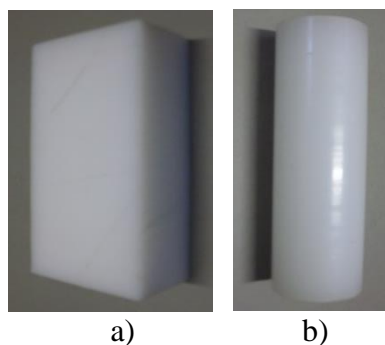


Figura 3-2: Peça fresa e peça torno.

A coordenação dos três setores é feita por um automáto programável (PLC), designado por Gestor da CFF. Cada um dos setores é controlado e monitorizado individualmente pelo PLC e sincronizado com os restantes setores através deste. O Gestor da CFF tem como principal função designar as tarefas para cada setor.

Na CFF pretende-se instalar um microcomputador que desempenha funções de um servidor *web* que suporta uma página *web* através da qual a CFF pode ser monitorizada e controlada remotamente pelo operador da CFF ou por vários clientes. Através da página *web* o operador da célula pode efetuar operações de controlo, verificar os dados relativos ao processo, monitorizar as tarefas que estão a ser executadas, e ainda aceder aos históricos de avisos e alarmes registados na célula. Ainda se pretende a partir do microcomputador enviar mensagens de texto onde são reportadas as falhas ocorridas na CFF. Todas as informações da CFF que são apresentadas na página *web* são obtidas a partir da comunicação com o Gestor da CFF e os robôs (controladores).

O PC Geral é um componente da CFF utilizado para comunicar com os robôs, as máquinas CNC e PLC quando o operador da célula necessitar de alterar os programas desenvolvidos. Por isso este pode ser considerado um elemento temporário na composição da CFF.

3.2 Transportador

O sistema de transporte existente na CFF é constituído por uma esteira transportadora com uma configuração retangular, como mostra a Figura 3-3. Nesta configuração o setor de fabrico e o setor de armazém encontram-se organizados em torno do transportador.

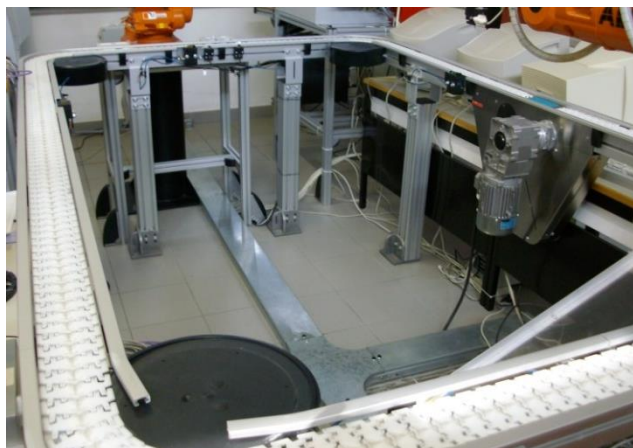


Figura 3-3: Configuração do transportador.

O transportador em esteira são meios baratos para o transporte de materiais por trajetórias fixas. Embora não sejam os sistemas de transporte mais flexíveis, estes representam uma solução de baixo custo e bastante eficaz.

As matérias-primas e os produtos acabados circulam apenas numa direção, podendo ser transferidas para qualquer setor. Em cada setor encontra-se instalado um sistema de transporte secundário constituído por um robô manipulador. No setor de armazém o robô transfere as matérias-primas para o transportador e descarrega os produtos acabados do transportador para a estação de descarregamento de peças. No setor de fabrico as matérias-primas são transferidas para o *buffer*. Depois de maquinadas são transferidas novamente para o transportador como produtos acabados. No transportador circulam quatro tipos de paletes. Para cada tipo de peças, fresa ou torno, existem duas paletes, uma destinada ao transporte de matérias-primas e outra para os produtos acabados. As paletes circulam continuamente e podem ser dispostas de forma aleatória no transportador. A configuração retangular do transportador é tipicamente utilizada para devolver paletes depois de descarregadas. As paletes são os equipamentos que servem de suporte para o transporte das peças de trabalho entre os dois setores. Para cada tipo de peça está associada uma paleta com uma configuração adaptada à sua forma geométrica. Esta característica evita o deslocamento das peças na paleta durante o transporte. As paletes circulam exclusivamente no transportador. Na Figura 3-4 apresenta-se a configuração da paleta MP fresadora a), PA fresadora b), MP torno c) e PA torno d).

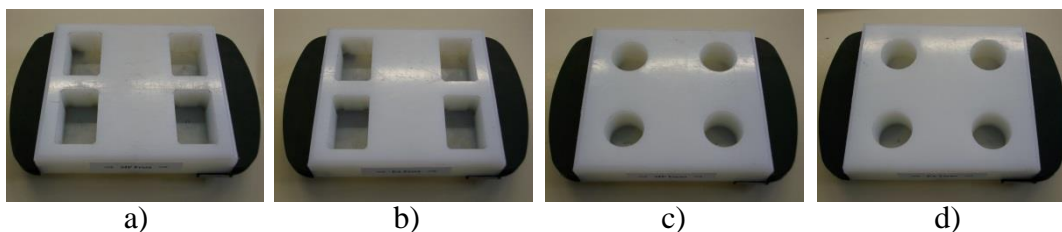


Figura 3-4: Configuração da paleta MP fresadora, PA fresadora, MP torno e PA torno.

Para cada palete foi definida uma codificação específica que permite identificá-la das restantes. Como mostra a Figura 3-5, as paletes apresentam um conjunto de peças metálicas estrategicamente colocadas em que cada peça obedece a uma localização específica na paleta. No Quadro 3-1 são apresentadas para cada paleta a respetiva codificação.

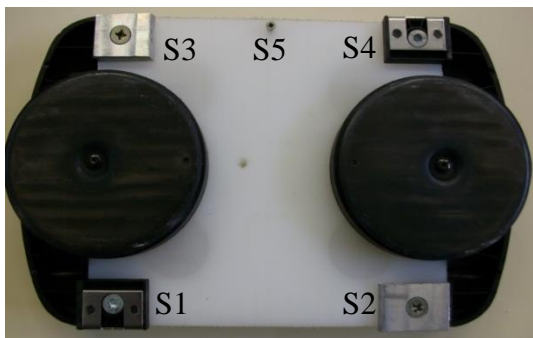


Figura 3-5: Localização das peças metálicas

Quadro 3-1: Codificação das paletes.

Tipo de Paleta	Codificação
MP torno	S1 • S2 • S3 • S4 • S5
MP fresadora	S1 • /S2 • /S3 • S4 • S5
PA torno	S1 • S2 • /S3 • S4 • S5
PA fresadora	/S1 • /S2 • S3 • S4 • S5

Sensores indutivos

Para a deteção do tipo de paleta, o transportador possui dois conjuntos de cinco sensores indutivos como apresenta a Figura 3-6, um localizado no setor de armazém a) e outro no setor de fabrico b). A distribuição dos sensores, em cada setor, obedece à mesma distribuição das peças metálicas nas paletes. Isto significa que cada sensor está associado a uma peça metálica e é responsável pela sua deteção.

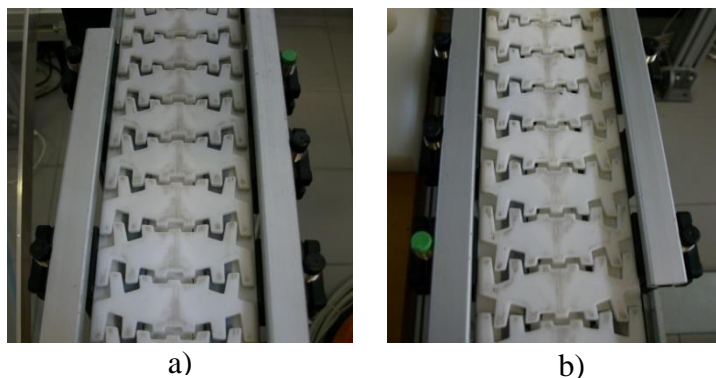


Figura 3-6: Disposição dos sensores indutivos no setor de armazém e no setor de fabrico.

Em cada setor, os sensores são responsáveis por detetar as peças metálicas que se encontram nas paletes. O sinal enviado pelos quatros sensores permite ao Gestor da CFF identificar o tipo de palete, de acordo com a codificação estabelecida no Quadro 3-1.

Stoppers

Para efetuar a paragem das paletes em cada setor é utilizado um *stopper* pneumático, do fabricante *Bosch*, que é comandado pelo Gestor da CFF. Quando este identifica um tipo de palete solicitada num dos setores é fornecido ar comprimido, que permite elevar o *stopper* para interromper o curso da paleta. Quando o ar comprimido deixa de ser fornecido o *stopper* baixa e a paleta prossegue ao longo do transportador. Na Figura 3-7 são apresentados os *stoppers* do setor de armazém a) e do setor de fabrico b).

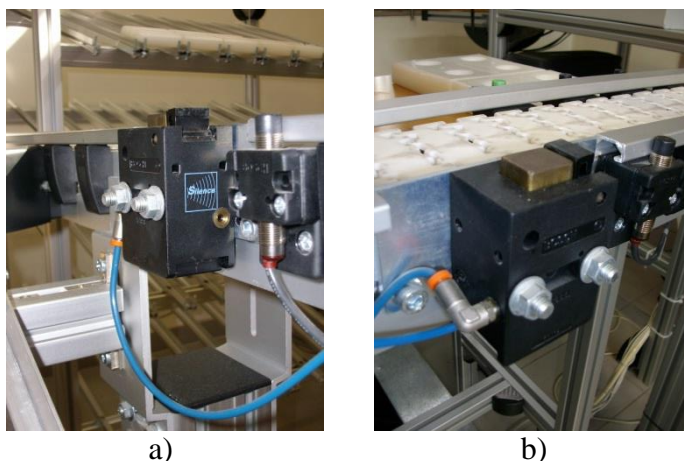


Figura 3-7: *Stoppers* do setor de armazém e do setor de fabrico.

Adicionalmente encontram-se instalados mais dois *stoppers*, como mostra a Figura 3-8. Estes desempenham funções auxiliares, ou seja, evitam a formação de filas em cada setor, proporcionando uma distribuição das paletes mais uniforme ao longo do transportador. Como os anteriores estes são igualmente comandados pelo Gestor da CFF. Na Figura 3-8 são apresentados os *stoppers* auxiliares do setor de armazém a) e do setor de fabrico b).

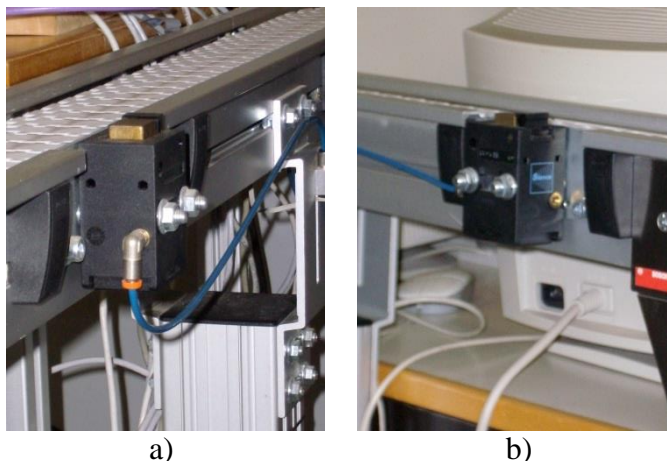


Figura 3-8: *Stoppers* auxiliares do setor de armazém e do setor de fabrico.

3.3 Setor de fabrico

Como referido anteriormente, o setor de fabrico é a unidade da CFF responsável pelo processamento das peças de trabalho. Como exibe a Figura 3-9, o setor de fabrico é constituído por uma fresadora EMCO MILL 155, um torno EMCO TURN 55 e um robô manipulador ABB IRB140. Estes são os equipamentos de automação industrial que constituem a unidade de fabrico. Adicionalmente encontra-se instalado um *buffer*, que permite rentabilizar a utilização das máquinas CNC. No *buffer* estão disponíveis, em pequenas quantidades, as matérias-primas (peças de trabalho) para ambas as máquinas e são armazenadas temporariamente as peças maquinadas (produtos acabados). A colocação do *buffer* no centro da unidade de fabrico visa também rentabilizar a utilização do robô, e assim todo o processo de produção.

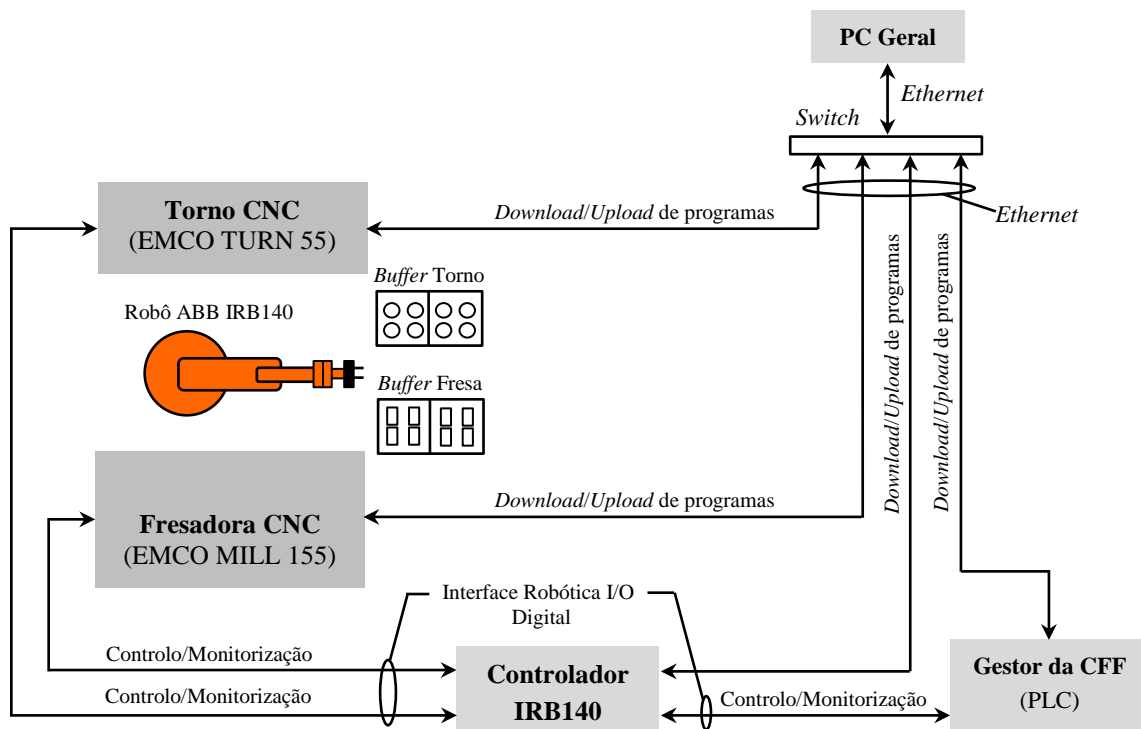


Figura 3-9: Setor de fabrico.

O controlo e monitorização de cada uma das máquinas são efetuados pelo robô manipulador, através de uma interface robótica redundante. Isto significa que a comunicação é estabelecida por um conjunto de sinais digitais (*inputs* e *outputs*) entre as máquinas CNC e o controlador do robô. O Gestor da CFF (PLC) é responsável por monitorizar e controlar o setor de fabrico a partir da interface robótica com o robô (controlador). O PLC tem como função controlar as paletes que podem ser carregadas e descarregadas no setor de fabrico em função do estado do *buffer*. A partir do PC Geral é possível efetuar o *download/upload* dos programas nas máquinas CNC, controlador do robô e do PLC.

3.3.1 Robô e controlador

Na escolha de um robô manipulador é necessário verificar se as características deste estão adequadas à tarefa a desempenhar. Um dos aspetos a ter em conta na escolha de um robô industrial para o manuseamento de materiais é o seu valor máximo de carga. Este valor é calculado tendo em conta a carga máxima prevista a ser manipulada e a massa do órgão terminal.

O volume de trabalho é outro aspeto determinante na escolha de um robô industrial. O volume de trabalho representa no espaço o conjunto de todos os pontos atingíveis pela extremidade do manipulador. No setor de fabrico, todos os elementos, como as máquinas CNC, o *buffer* e o transportador devem encontrar-se dentro do volume de trabalho do manipulador. Outro aspeto a ter em conta é a repetibilidade. Dado que no setor de fabrico ocorre um conjunto de tarefas

repetitivas, é necessário assegurar que o objeto de trabalho é sempre colocado no mesmo ponto.

O robô apresentado na Figura 3-10 a) é o robô já existente no setor de fabrico. O robô utilizado é um robô do fabricante *ABB* modelo IRB 140-6/0.8m, com uma capacidade de carga de 6kg e uma repetibilidade de $\pm 0.03\text{mm}$. Este robô é indicado para executar operações de soldadura a arco, corte, montagem, embalamento, manutenção de máquinas, e manipulação de materiais. Este robô, de seis graus de liberdade, apresenta uma estrutura antropomórfica com seis eixos de rotação e um punho esférico.

Na Figura 3-10 b) pode-se observar o volume de trabalho do robô IRB 140, utilizado para o desenvolvimento do trabalho prático no setor de fabrico. Este robô apresenta um alcance máximo de 0.8m.

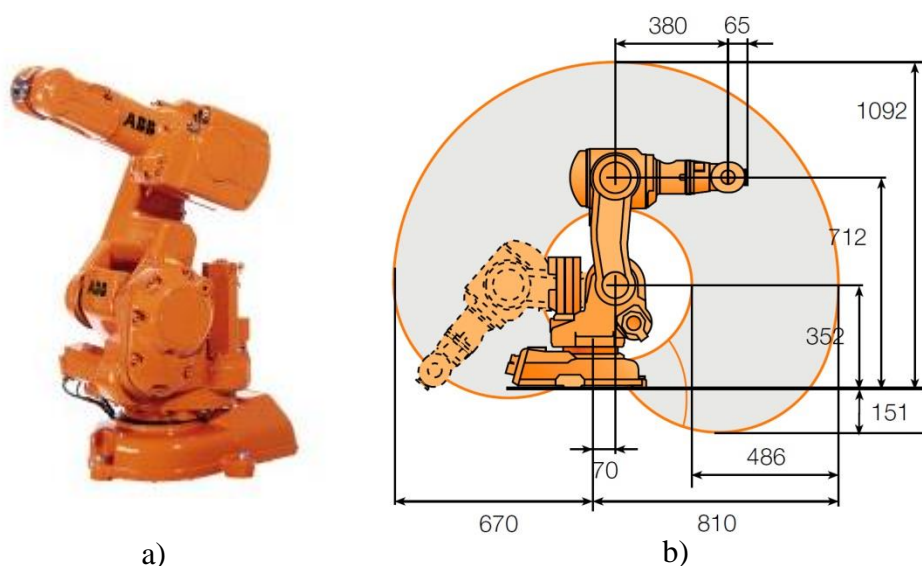


Figura 3-10 Manipulador e volume de trabalho do robô IRB 140 da ABB® [19] e [20].

No Quadro 3-2 são apresentadas outras características do robô manipulador existente no setor de fabrico.

Quadro 3-2: Principais características do robô ABB IRB 140 [21].

Robô ABB IRB 140	
Tipo	Antropomórfico
Referência	ABB IRB 140/0.8
Número de eixos	6
Movimento de eixos	
Eixo 1	+180° a -180°
Eixo 2	+110° a -90°
Eixo 3	+50° a -230°
Eixo 4	+200° a -200°
Eixo 5	+115° a -115°
Eixo 6	+400° a -400°
Velocidade dos eixos	
Eixo 1	200°/s
Eixo 2	200°/s
Eixo 3	260°/s
Eixo 4	360°/s
Eixo 5	360°/s
Eixo 6	450°/s
Carga máxima	6 kg
Dimensões da base	400 x 450 mm
Altura total	810 mm
Peso	98 kg
Repetibilidade	±0,03 mm
Alcance	0.8 m

O robô industrial ABB IRB 140 possui um sistema computadorizado (controlador) sendo este o responsável pelo controlo do movimento do manipulador. A tarefa de controlo baseia-se na coordenação da ação dos motores das juntas de acordo com a informação fornecida pelos sensores e pelo operador (programa), relativamente à posição, velocidade, e tipo de movimento a executar. O controlador utiliza a informação fornecida para efetuar as operações de cálculo necessárias e enviar os sinais de controlo aos atuadores [2].

A Figura 3-11 apresenta o controlador associado ao manipulador ABB IRB 140. O controlador ABB S4C utiliza uma linguagem de programação de alto nível, *Rapid*, orientada a objetos. No controlador encontram-se armazenados os algoritmos (programas) elaborados em *RAPID* que podem ser transmitidos e acedidos quando o utilizador pretender.

O controlador também apresenta uma consola *Teachpendant* formada por um LCD, um teclado, um botão de emergência e um *joystick*. A partir da consola o utilizador pode manipular e controlar a posição do robô, gerir os programas desenvolvidos, alterar o estado das entradas e saídas do controlador e ainda aceder a todo o tipo de configurações. A consola é responsável por estabelecer a interface de comunicação entre o utilizador e o controlador.



Figura 3-11: Controlador S4C com consola *Teachpendant* [24].

O controlador possui duas cartas lógicas, cada uma com 16 entradas e 16 saídas digitais, com possibilidade de expansão. Este ainda apresenta três portas série de utilização permanente, utilizadas para comunicar com equipamentos periféricos como, computadores e impressoras. Para uma utilização temporária, como a de serviço, o controlador ainda possui mais duas portas série RS 232. O controlador ainda apresenta dois canais *Ethernet*, um para uma utilização permanente e outro para uma utilização não permanente.

3.3.2 Ferramenta de trabalho e sua composição

Para a tarefa a desempenhar no setor de fabrico a ferramenta de trabalho (*gripper*) deverá ser robusta e capaz de manipular dois objetos de trabalho geometricamente distintos, neste caso, peças cilíndricas (peças torno) e peças prismáticas (peças fresa).

Para cada tipo de peça são utilizadas com mais frequência ferramentas de trabalho específicas que asseguram um transporte mais adequado e eficiente. Contudo, dado que existe apenas um manipulador para movimentar alternadamente os dois tipos de peças, não é possível utilizar duas ferramentas de trabalho especializadas. Assim o órgão terminal deverá ser suficientemente flexível para assegurar o transporte de ambas as peças, torno e fresa.

A colocação das peças nas respetivas máquinas CNC é outro aspeto a ter em conta. Nesta situação, o *gripper* deverá segurar firmemente a peça de trabalho enquanto a coloca no dispositivo pneumático que a fixa nas máquinas. Após esta análise optou-se por manter a ferramenta de trabalho já existente no setor de fabrico como se pode ver na Figura 3-12.

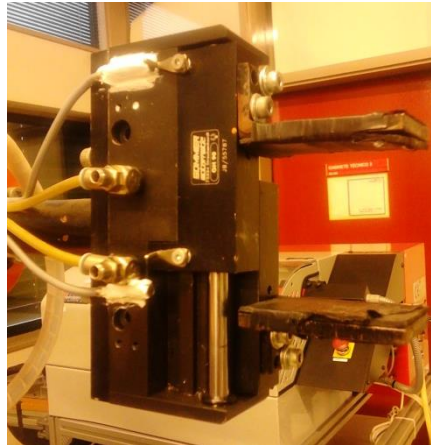


Figura 3-12: Ferramenta de trabalho robô IRB 140.

A ferramenta de trabalho utilizada é um *gripper* pneumático paralelo do fabricante *Sommer Automatic* modelo *GH90 Long Stroke*. Os *grippers* pneumáticos são adequados para executar operações *pick-and-place*. Este *gripper* apresenta uma massa de 4kg que adicionalmente à massa das peças a manipular não ultrapassa a máxima carga admitida pelo manipulador. A sua simplicidade construtiva, tornam-no adequado para lidar com diversos estilos das peças, sendo o modelo apresentado o mais frequentemente utilizado para manipular materiais de várias dimensões. O *gripper* utilizado é constituído por duas garras paralelas para oferecer uma maior segurança e sustentação ao agarrar os objetos de trabalho.

Sensores de deteção de peças

A ferramenta de trabalho também apresenta um sistema de deteção de peças. Na ferramenta de trabalho encontram-se instalados dois sensores indutivos e duas peças metálicas, como apresenta a Figura 3-13, que permitem distinguir três estados do *gripper*: aberto a), fechado com peça b) e fechado sem peça c). A partir do programa desenvolvido é possível conhecer se o *gripper* agarrou a peça de trabalho e, por sua vez, se existem peças caídas quer no *buffer*, nas máquinas ferramentas ou nas paletes que chegam ao setor de fabrico pelo transportador.

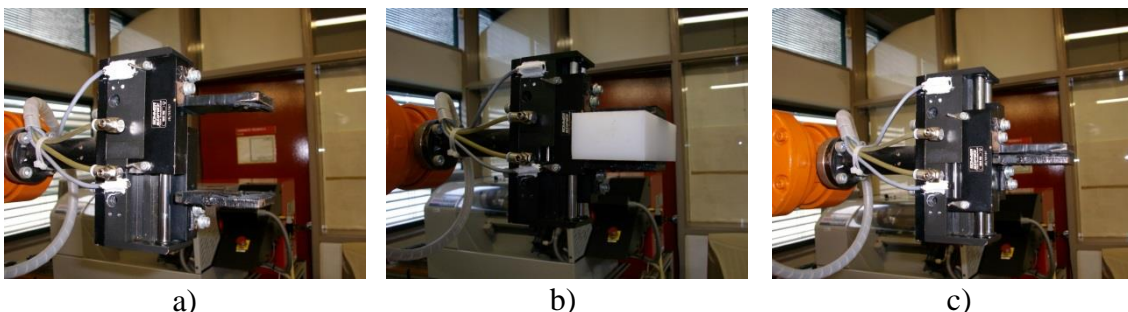


Figura 3-13: Estado do *gripper*.

Enquanto, os dois sensores indutivos encontram-se fixos na ferramenta de trabalho, as duas peças metálicas deslocam-se de acordo com o estado do *gripper*. Para cada estado existe uma

combinação de sinais gerados pelos sensores, como é apresentado no Quadro 3-3. O estado “Fechado com peça” indica a presença de uma peça e o estado “Fechado sem peça” indica a ausência da peça e a possibilidade de esta encontrar-se caída numa máquina ou numa palete.

Quadro 3-3: Estado do *gripper*: combinação do estado lógico dos sensores indutivos.

Estado do <i>gripper</i>	Sensor indutivo 1	Sensor indutivo 2
Aberto	1	0
Fechado com peça	0	1
Fechado sem peça	0	0

Os sensores indutivos, também conhecidos por sensores de proximidade, produzem um campo magnético que é afetado por metais que se encontrem próximos. Quando o metal entra dentro do campo magnético, os circuitos elétricos detetam as variações de campo e enviam um sinal em corrente contínua que é utilizado para comandar outros equipamentos. O efeito do metal sobre o campo magnético é chamado de efeito de indução.

Os sensores indutivos representam uma solução de baixo custo e são ideais para a deteção de objetos metálicos, sendo intensivamente utilizados em sistema de automação por suportarem ambientes bastante agressivos. Como estes equipamentos não possuem partes móveis e não existe contato físico entre o sensor e o metal, a sua durabilidade é bastante elevada, não necessitando de uma manutenção preventiva.

3.3.3 Máquinas CNC

Como referido anteriormente o setor de fabrico é constituído por duas máquinas ferramenta CNC responsáveis pelo processo de maquinação das matérias-primas. Cada máquina destina-se ao processamento de um tipo de peça de trabalho. Para o processamento de peças prismáticas foi utilizada uma máquina CNC fresadora do fabricante *EMCO*® modelo Concept Mill 155, como é possível ver na Figura 3-14. Esta máquina de três eixos, é indicada para o processamento de pequenas peças e executa operações de contorno, desbaste e perfuração (*contour milling, thread milling, tapping, drilling*).

A fresadora Concept Mill 155 pode ser automatizada individualmente como pode integrar um sistema automatizado, como um CFF ou SFF. Para o efeito, esta máquina possui elementos de automação como o *vice* pneumático que permite fixar a peça de trabalho, uma porta automática, uma interface robótica e uma interface DNC. A interface robótica é utilizada para conectar a máquina CNC com a CFF, neste caso com o robô IRB 140. Esta interface é estabelecida por um módulo de hardware de entradas e saídas digitais que permite a automação das funcionalidades da máquina [25].



Figura 3-14: Fresadora *EMCO* Concept Mill 155 [26].

Para o processamento de peças cilíndricas foi utilizada uma máquina CNC torno do fabricante *EMCO*® modelo Concept Turn 55, como é possível ver na Figura 3-15. Esta máquina de dois eixos executa operações de contorno, desbaste e perfuração (*facing, turning, contouring, grooving, threading, drilling*).



Figura 3-15: Torno *EMCO* Concept Turn 55 [27].

À semelhança da máquina anterior, o torno *EMCO* Concept Turn 55 também pode ser automatizado individualmente ou integrar um sistema automatizado. Como tal possui elementos de automação como o *chuck* pneumático que permite fixar a peça de trabalho, uma porta automática, uma interface robótica, uma interface DNC e um *tailstock* eletromecânico [27].

3.3.4 *Buffer*

No setor de fabrico encontra-se instalado um *buffer* destinado ao armazenamento de matérias-primas (MP) e de produtos acabados (PA) de cada tipo de peça, como é apresentado na Figura

3-16. Nos *buffers* fresa MP e torno MP estão disponíveis, em pequenas quantidades, as matérias-primas fresa e torno, respectivamente, para ambas as máquinas. O objetivo é rentabilizar a utilização das máquinas ferramenta de modo que estas tenham sempre disponíveis matérias-primas para maquinar. Os *buffers* fresa PA e torno PA armazenam temporariamente as peças processadas nas máquinas ferramentas até que seja possível descarrega-las para as paletes PA que circulam no transportador.

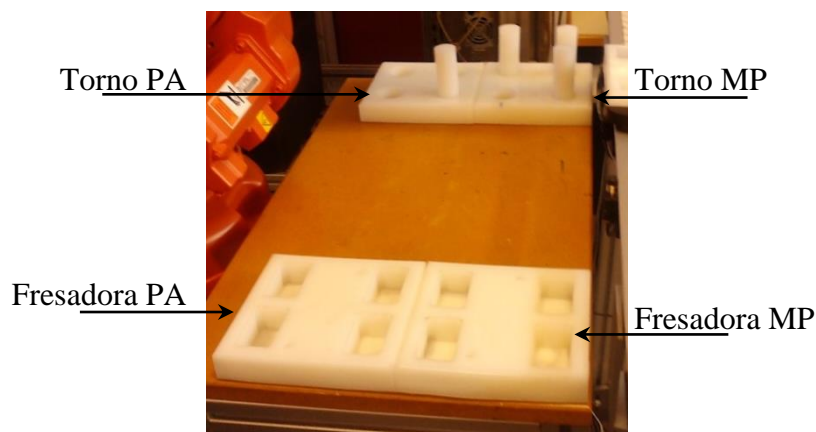


Figura 3-16: *Buffer* do setor de fabrico.

A colocação do *buffer* no centro da unidade de fabrico visa rentabilizar as tarefas executadas pelo robô, como o transporte de peças entre as máquinas, o *buffer* e o transportador.

3.4 Setor de armazém

O setor de armazém é a unidade da CFF responsável por armazenar e carregar as matérias-primas nas respectivas paletes. Este setor ainda é responsável por descarregar os produtos acabados. Como mostra a Figura 3-17, o setor de armazém é constituído por um robô manipulador ABB IRB1400, quatro armazéns e uma estação de descarregamento de peças. Os quatro armazéns destinam-se ao armazenamento de dois tipos de matérias-primas, fresadora e torno. O manipulador é responsável por executar diversas funções no setor de armazém.

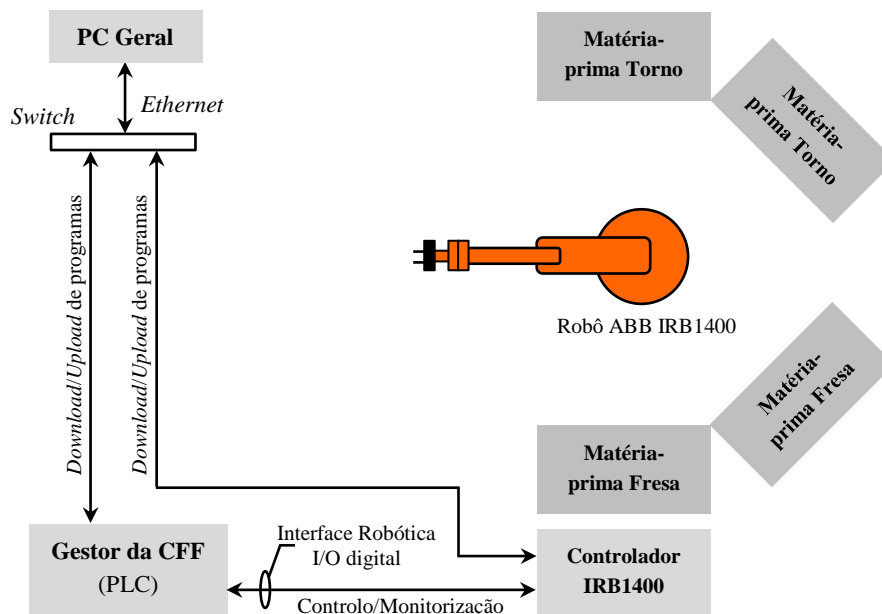


Figura 3-17: Setor de armazém.

O Gestor da CFF (PLC) é responsável por monitorizar e controlar o setor de armazém a partir da interface robótica estabelecida com o robô (controlador). O PLC tem como função controlar e monitorizar as paletes que podem ser carregadas em função do estado dos armazéns. Para além disso, este ainda controla as paletes PA que podem ser descarregadas no setor. Estas são as tarefas instruídas pelo Gestor da CFF relativas ao processo. O Gestor da CFF ainda é responsável por monitorizar o estado dos armazéns e ativar tarefas auxiliares que ativam mecanismos de supervisão de paletes.

3.4.1 Robô e controlador

Como mostra a Figura 3-18 a), o robô utilizado é um robô do fabricante *ABB* modelo IRB 1400-6/1.44m, com uma capacidade de carga de 6kg e uma repetibilidade de +/- 0.05mm. Dado que o manipulador executa um conjunto de tarefas repetitivas, é necessário assegurar que o objeto de trabalho é sempre colocado no mesmo ponto. Este manipulador foi projetado para executar operações de soldadura a arco, montagem, manutenção de máquinas, e manipulação de materiais. Este manipulador, de seis graus de liberdade, apresenta uma estrutura antropomórfica com seis eixos de rotação e um punho esférico.

Na Figura 3-18 b) pode-se observar o volume de trabalho do manipulador IRB 1400. O volume de trabalho apresentado engloba todos os componentes do setor, a estação de descarregamento, os armazéns fresadora e torno, e o transportador. Este robô apresenta um alcance máximo de 1,44m.

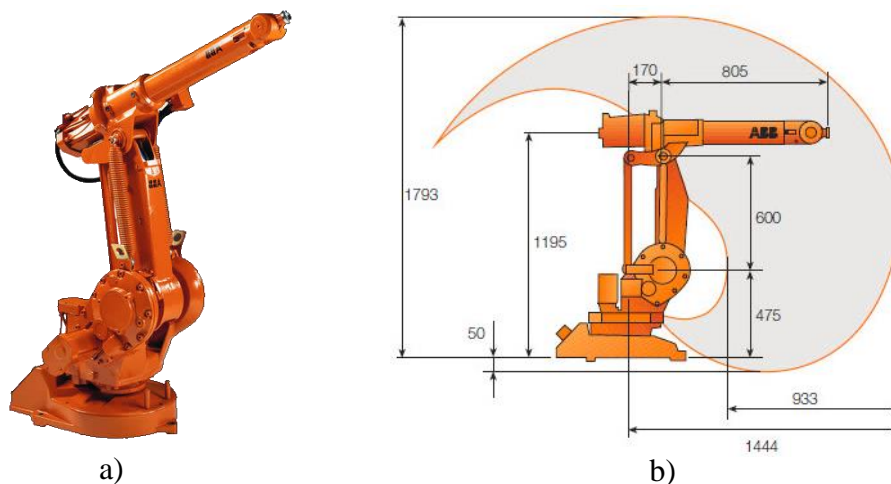


Figura 3-18: Robô IRB 1400 da ABB® [28] e [29].

No Quadro 3-4 são apresentadas outras características do robô manipulador existente no setor de armazém.

Quadro 3-4: Principais características do robô ABB IRB 1400 [30].

Robô ABB IRB 1400	
Tipo	Antropomórfico
Referência	ABB IRB 1400/0.8
Número de eixos	6
Movimento de eixos	
Eixo 1	+340° a -340°
Eixo 2	+140° a -140°
Eixo 3	+135° a -135°
Eixo 4	+300° a -300°
Eixo 5	+230° a -230°
Eixo 6	+600° a -600°
Velocidade dos eixos	
Eixo 1	110°/s
Eixo 2	110°/s
Eixo 3	110°/s
Eixo 4	280°/s
Eixo 5	280°/s
Eixo 6	280°/s
Carga máxima	5 kg
Dimensões da base	620 x 450 mm
Altura total	1310 mm
Peso	225 kg
Repetibilidade	±0,05 mm
Alcance	1.44 m

O robô industrial *ABB IRB 1400* também possui um sistema computadorizado (controlador) sendo este o responsável pelo controlo do movimento do manipulador. O controlador responsável por esta tarefa é o controlador *ABB S4C*. Como se trata do mesmo modelo do fabricante *ABB* utilizado no setor de fabrico a sua descrição técnica é apresentada no tópico 3.3.1.

3.4.2 Ferramenta de trabalho e sua composição

Para a tarefa a desempenhar no setor de armazém a ferramenta de trabalho (*gripper*) deverá ser igualmente robusta e capaz de manipular dois objetos de trabalho geometricamente distintos, neste caso, peças cilíndricas (torno) e peças prismáticas (fresa), à semelhança do setor de fabrico. Após esta análise optou-se por manter a ferramenta de trabalho já existente no setor de armazém como se pode ver na Figura 3-19. Como esta ferramenta de trabalho é do mesmo modelo do fabricante *Sommer Automatic* utilizado no setor de fabrico a sua apresentação encontra-se descrita no tópico 3.3.2.

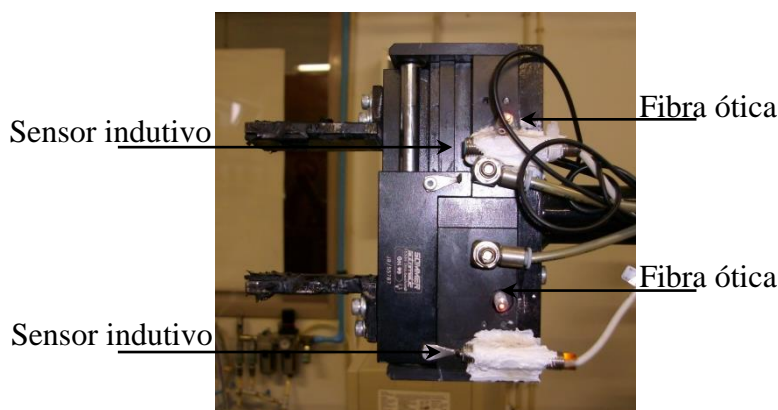


Figura 3-19: Ferramenta de trabalho robô IRB 1400.

Como se verifica este *gripper* possui dois sensores indutivos, utilizados com o mesmo princípio de funcionamento do *gripper* instalado no robô IRB 140 (setor de fabrico).

Fibra ótica

A ferramenta de trabalho possui também dois sensores óticos, como é o possível observar da Figura 3-19. Estes dois sensores foram utilizados para determinar quando há peças caídas nas paletes matéria-prima e produtos acabados.

Um sensor ótico possui um amplificador que é composto por um emissor e um recetor. O emissor é responsável por transmitir um feixe de luz para o ambiente de trabalho, através da cabeça do sensor. Quando esse feixe encontrar uma superfície, que será uma peça fresa ou torno, este é refletido segundo a mesma direção no sentido do recetor. Se o recetor captar o feixe de luz emitido significa a presença de uma peça na paleta.

Esta funcionalidade encontra-se aplicada na supervisão de peças nas paletes. Neste caso, o sensor ótico irá passar sobre as posições onde deverão estar colocadas as peças nas paletes. Caso todas as peças estejam corretamente posicionadas estas serão detetadas pelo sensor. Para além disso, estes dois sensores são utilizados para averiguar a existência de peças caídas nas paletes matéria-prima e produtos acabados antes de estas serem carregadas. Perante a possibilidade de existir uma peça caída numa paleta, esta não poderá ser carregada dado que existe o risco de o manipulador embater na peça.

3.4.3 Armazéns

O sistema de armazenamento é constituído por quatro armazéns, como apresenta a Figura 3-20. Todos os armazéns são iguais em geometria e dimensão e cada um possui 32 posições para armazenar matérias-primas. No total o conjunto dos quatro armazéns possui 128 posições. Os armazéns torno, possuem uma capacidade máxima de 30 peças por posição e os armazéns fresa uma capacidade de 22 peças. Para cada tipo de matéria-prima existem dois armazéns.

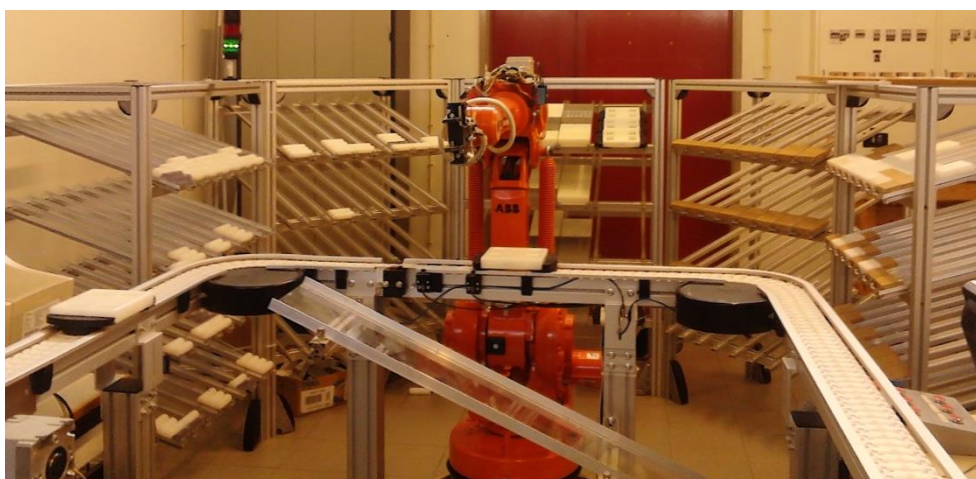


Figura 3-20: Setor de armazém

Quando é solicitado o carregamento de uma paleta matéria-prima, torno ou fresa, o robô começa por carregar as peças do primeiro armazém, “armazém torno 1” ou “armazém fresa 1”, respetivamente, a partir da primeira posição. Quando não são detetadas peças matérias-primas numa posição o manipulador desloca-se para a posição seguinte do armazém. No caso de não existirem peças no primeiro armazém o robô prossegue para o armazém seguinte e repete o mesmo procedimento.

3.4.4 Estação de descarregamento de peças

A estação de descarregamento de peças está englobada no setor de armazém, uma vez que partilha do mesmo manipulador, como é ilustrado na Figura 3-21. Os produtos acabados são descarregados numa esteira inclinada, deslizando por gravidade até à extremidade desta, que

se situa fora da área operacional da CFF. Nesta fase os produtos acabados podem ser retirados manualmente por um funcionário sem comprometer a sua segurança. Embora não se encontre instalado um separador físico ao longo da esteira, os produtos acabados fresa e torno são descarregados em duas zonas distintas da esteira.

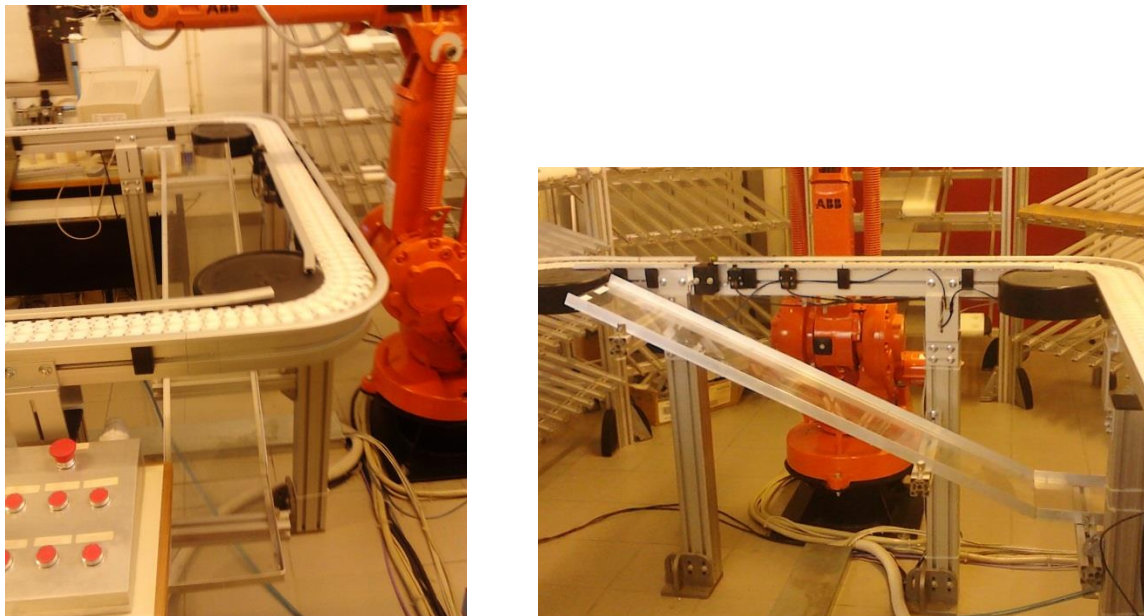


Figura 3-21: Estação de descarregamento de produtos acabados.

3.5 Sistema de controlo e sinalização local

Como em qualquer sistema de automação é necessário implementar sistemas de controlo e de sinalização, o que obriga à instalação de sistemas de interface homem-máquina. O sistema de controlo e de sinalização instalado no setor de fabrico e de armazém é constituído por uma unidade de comando manual a) (botoneira), uma baliza de sinalização b) e a consola *Teachpendant* do robô manipulador c), como é apresentado na Figura 3-22.

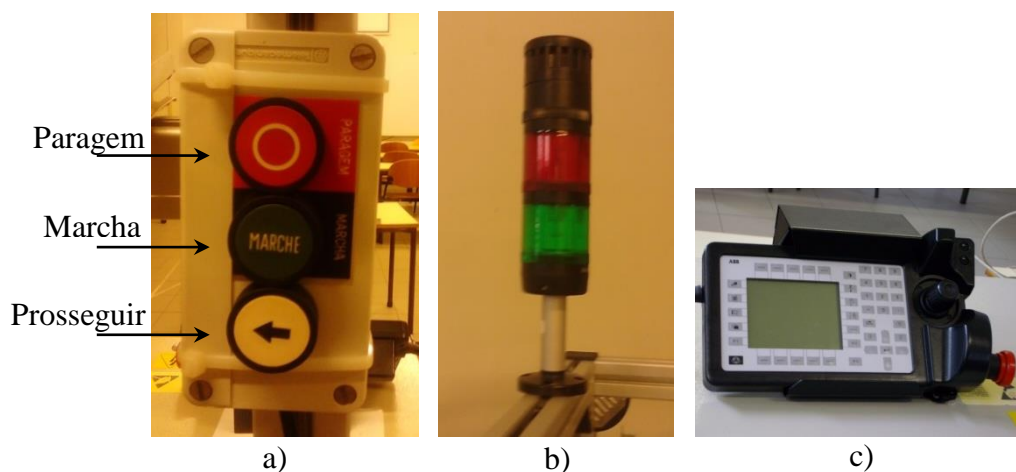


Figura 3-22: Constituição do sistema de controlo e de sinalização local instalado em cada setor.

A unidade de controlo manual consiste numa botoneira constituída por três botões de impulso, cada um responsável por uma ação de controlo distinta. Esta unidade permite ao utilizador diferenciar facilmente as opções de controlo e, por sua vez, assegurar uma resposta eficiente. A implementação desta garante uma maior fiabilidade ao sistema e permite ao utilizador uma maior facilidade na escolha dos comandos de controlo a selecionar. Este equipamento constitui o sistema de controlo da unidade de fabrico. O sistema de sinalização é constituído por uma baliza de sinalização sonora e luminosa. Este sistema tem a vantagem de dispensar a presença do operador junto à CFF. A consola *Teachpendant* apresenta mensagens de texto que permitem identificar rapidamente as falhas ocorridas em cada setor. De acordo com as falhas identificadas a consola ainda fornece a sequência de instruções a adotar pelo utilizador como os comandos de controlo a selecionar.

3.6 Sistema de segurança e emergência local

O sistema de segurança e de emergência instalado no setor de fabrico e de armazém tem como objetivo garantir a proteção da integridade física do operador e ainda precaver possíveis danos dos equipamentos de automação, nomeadamente das máquinas CNC.

No desenvolvimento do sistema de segurança foram instalados dois sensores de presença em cada setor. Estes encontram-se instalados nas duas zonas de entrada de cada setor. Na Figura 3-23 é apresentado o sensor ótico instalado em cada uma das entradas dos setores. A localização destes dois sensores garante que o volume de trabalho do manipulador não seja invadido enquanto este se movimenta. Nesta situação, sempre que se verifique a presença de pessoas na zona de entrada de um dos setores o movimento do manipulador é interrompido. De seguida é ativado o sistema de controlo e sinalização local, que permite ao operador identificar facilmente o tipo de falha ocorrido.



Figura 3-23: Sensor ótico do sistema de segurança e emergência local.

O sistema de segurança ainda engloba a deteção de falhas e de emergências das máquinas ferramentas CNC instaladas no setor de fabrico. A partir da interface robótica, o robô consegue identificar a máquina em falha e, por sua vez, descativar as suas tarefas associadas a essa máquina. Quando se verifica uma destas anomalias automaticamente é ativado o sistema de controlo e de sinalização e ainda é fornecido as instruções de recuperação da falha.

3.7 Gestor da CFF

O Gestor da CFF é constituído por um PLC e tem como função gerir todos setores que a constituem e designar as tarefas para cada um. No setor de transporte este é responsável por monitorizar o estado (cheio, vazio ou com peças caídas) de cada palete que circula no transportador. Cada vez que uma paleta é parada num setor, o autómato designa de acordo com a paleta identificada o tipo de tarefa a executar no respetivo setor.

A paragem das paletes no setor de fabrico e de armazém depende do estado, como também da disponibilidade do setor. Como é apresentado na Figura 3-24, a função de controlo e de monitorização do Gestor da CFF é estabelecida através de uma interface I/O digital com os robôs (controladores) e o transportador (sensores indutivos e *stoppers*).

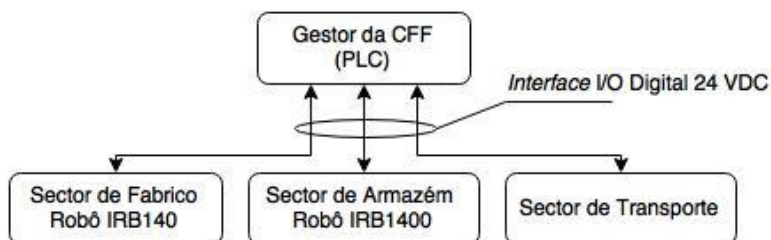


Figura 3-24: Interface de comunicação do Gestor da CFF.

Para executar as funcionalidades do Gestor da CFF foi utilizado um controlador lógico programável do fabricante Siemens modelo CPU 1214C AC/DC/Rly (a), como é apresentado na Figura 3-25 a). O modelo apresentado possui diversas especificações técnicas, contundo

apenas serão mencionadas as necessárias ao projeto. Este controlador possui 14 entradas digitais (24 V DC) e 10 saídas digitais (24 V DC a relé) que são utilizadas para receber e enviar sinais aos robôs e aos equipamentos do transportador. Para além disso ainda integra uma fonte de alimentação própria de 24 VDC, que neste caso, é utilizada para alimentar as saídas digitais. O modelo apresentado é alimentado com uma tensão de 230 VAC e possui uma saída RJ 45 utilizada para comunicar por *Ethernet*.

Para assegurar todas as funcionalidades do Gestor da CFF foi necessário instalar um módulo de entradas e saídas digitais, modelo SM 1223 DC/DC do fabricante Siemens, como é exibido na Figura 3-25 b). Este módulo é constituído por 16 entradas/saídas digitais (24 VDC). Para a programação deste autómato foi utilizado o software TIA PORTAL V12 do fabricante Siemens.

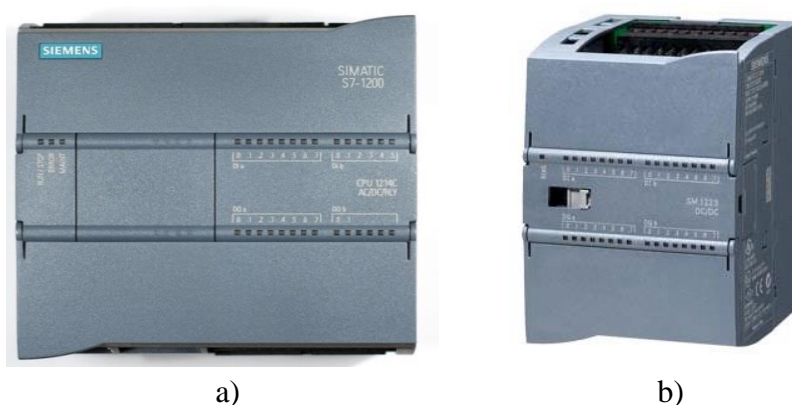


Figura 3-25: CPU 1214C AC/DC/Rly e módulo SM 1223 DC/DC [31].

3.8 Microcomputador – Servidor *web*

Para desempenhar as funções de um servidor *web* foi utilizado o microcomputador Raspberry Pi 2 desenvolvido pela Fundação Raspberry Pi, como é apresentado na Figura 3-26. Este microcomputador é um equipamento de baixo custo que alberga um processador ARMv7 Quad Core com uma velocidade de processamento de 900 MHz, um processador gráfico, um slot para cartões de memória micro-SD de 16Gb, e uma interface com quatro portas USB e uma porta HDMI. Este ainda possui uma porta de rede *Ethernet*.

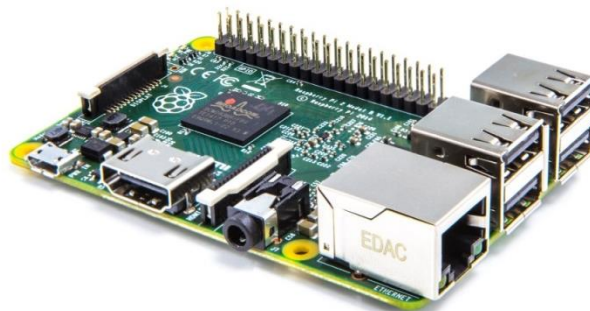


Figura 3-26: Microprocessador *Raspberry* PI 2 [32].

O *Raspberry* é utilizado para aceder e comunicar com rede a LAN existente, formada pelo PLC e os controladores dos robôs. O *Raspberry* tem como função efetuar a leitura dos dados disponibilizados pelo PLC, que é o Gestor da CFF, e ainda os ficheiros*.txt que possuem os dados de produção, avisos e alarmes. Todos os equipamentos, incluindo o *Raspberry*, encontram-se conetados ao *switch* por *Ethernet*, onde cada um é identificado por um endereço IP, como é ilustrado na Figura 3-27. Quando o operador da CFF se liga à rede apenas irá consultar os dados que estão armazenados no servidor *web*.

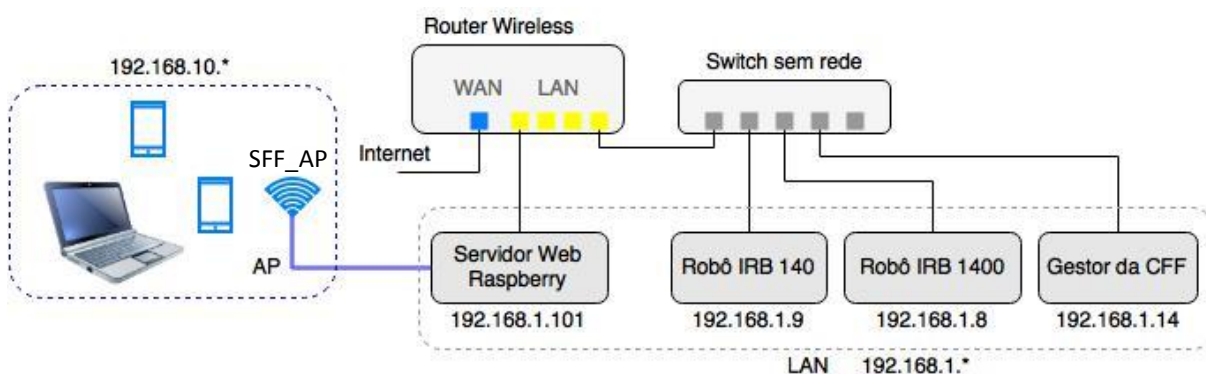


Figura 3-27: Interface de comunicação do *Acess Point*.

Como é apresentado na Figura 3-28 a) foi utilizada um adaptador USB Wireless do fabricante TP-LINK, modelo TL-WN722N. Este equipamento foi utilizado como um *Acess Point* que tem a função de debitar um sinal por *wireless* com SSID “SFF_AP” (nome da rede). Quando o cliente acede a esta rede é disponibilizada a página *web* da CFF.

Na Figura 3-28 b) é apresentado o *router wireless* que permite através de uma porta WAN obter uma *Gateway* através do qual o microcomputador consegue aceder à Internet para enviar mensagens de texto sem permitir a conexão externa à rede LAN. O *router wireless* utilizado é modelo TL-WR841N do fabricante TP-LINK.



Figura 3-28: Adaptador USB TL-WN722N (a) e *router wireless* TL-WR841N (b) [33] e [34].

3.8.1 Sistema de controlo e sinalização remoto

O sistema de controlo e sinalização remoto (*online*) apresenta as mesmas funcionalidades do sistema local. O sistema de controlo também é assegurado por três botões à semelhança do sistema de controlo localizado (botoneira) que podem ser selecionados a partir de uma tela *touchscreen* como num ecrã convencional de um PC.

O sistema de sinalização é assegurado por um SMS (*Short Message Service*) que é enviado para o telemóvel do operador sempre que a sua presença seja solicitada na CFF. Para identificar o tipo de falha ocorrida, este ainda fornece um histórico com todos os avisos sobre possíveis falhas ocorridas em cada setor.

Para enviar SMS foi criada uma conta no site “textlocal” com o endereço de e-mail “celulaff@gmail.com”. Este site oferece um serviço de mensagens de texto e disponibiliza um ficheiro “send_sms.py” que permite o envio de mensagens para um número de telemóvel, que neste caso, será do operador da CFF.

4. Proposta de solução

Neste capítulo são apresentados os algoritmos desenvolvidos para cada um dos equipamentos de automação instalados na CFF, robôs e PLC. Por último é apresentada a HMI que serve de interface entre a CFF e o operador.

A Figura 4-1 mostra como se processa o controlo e a integração dos elementos de automação da CFF. O Gestor da CFF (PLC) é o elemento *master* da CFF que tem como função designar as tarefas para cada setor. A linguagem de programação utilizada no PLC foi o diagrama de contatos (*Ladder Diagram*).

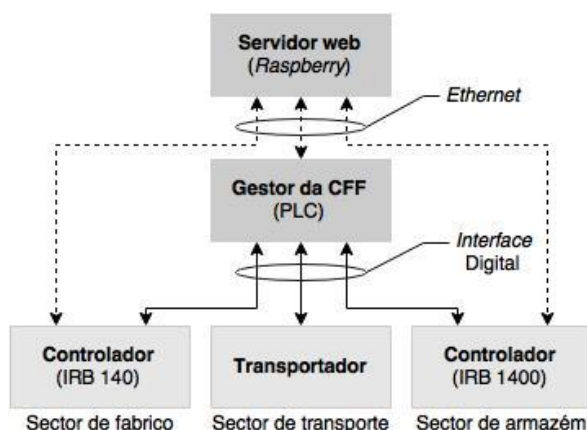


Figura 4-1: Sistema de controlo e integração da CFF.

Os setores de armazém e de fabrico são controlados e monitorizados através da interface digital que é estabelecida entre o PLC e os controladores dos robôs. Para designar uma tarefa é ativado um bit na saída do PLC que por sua vez é lido nas entradas do controlador do robô e processado a partir do programa armazenado.

Em função dos sinais transmitidos do Gestor da CFF, os setores podem executar um conjunto de tarefas diferentes, que são geridas e controladas a partir dos programas dos robôs. No caso do setor de fabrico o controlador ainda comunica com as máquinas CNC, através de uma interface digital redundante. O Gestor da CFF não tem acesso às máquinas CNC. O setor de transporte é controlado e monitorizado pelo Gestor da CFF, a partir dos elementos de automação, sensores indutivos e *stoppers*, que se encontram ligados às entradas e saídas do PLC, respetivamente. Portanto, os controladores dos robôs e os equipamentos do transportador são elementos *slave* da CFF.

Os programas para os robôs dos setores de armazém e de fabrico, foram desenvolvidos a partir da linguagem de programação “*RAPID*” da *ABB*. Para além do programa que desempenha as tarefas relativas ao processo, foi desenvolvido um segundo programa com o objetivo de garantir a segurança do operador responsável pela CFF. Assim, existem dois programas que são executados em simultâneo (*multitask*), em que o programa principal é o subordinado do programa de segurança e emergência.

No programa desenvolvido foram introduzidas várias funcionalidades responsáveis pelo controlo e supervisão das paletes e das máquinas CNC. Estas tarefas foram pensadas com o objetivo de proteger os equipamentos que manipulam e transportam as várias peças entre os setores. Por outro lado, procurou-se, à semelhança de um processo industrial, evitar perdas na produção com a recuperação de falhas ou avarias dos equipamentos. Na ocorrência de uma falha ou avaria, para que não ocorra a paragem total da célula, foi desenvolvido um sistema de tolerância a falhas e avarias.

A HMI da CFF é responsável por apresentar os dados de produção de cada setor. Para isso o servidor comunica com os controladores dos robôs onde estão disponíveis os ficheiros de produção, avisos e alarmes. O servidor *web* ainda comunica com o Gestor da CFF para apresentar as tarefas que estão a ser executadas e ainda identificar o estado das paletes. O servido web ainda permite efetuar operações de controlo da célula que são transmitidas ao Gestor da CFF e deste para os setores.

4.1 Robô do setor de armazém

No desenvolvimento de uma CFF é necessária a comunicação entre todos os elementos de automação industrial que a constituem, para que seja possível a interação em tempo real de todos os elementos. Apresenta-se de seguida a interface robótica implementada no setor de armazém. Nos Quadros 4-1 e 4-2 são apresentadas, respetivamente, as entradas e saídas do controlador do robô IRB 1400 que constituem a interface de comunicação deste equipamento. Nos quadros apresentados são indicados a localização dos bits do PLC.

Quadro 4-1: Interface Robótica (Entradas).

Saídas PLC		Entradas IRB 1400	
Localização	Localização	Descrição	
Q9.6	DI10_8	Controlo Palete MP Torno Ativado	
Q9.7	DI10_9	Controlo Palete MP Fresa Ativado	
Q0.4	DI10_12	Carregar Palete MP Torno	
Q0.5	DI10_13	Carregar Palete MP Fresa	
Q9.0	DI10_14	Descarregar Palete PA Torno	
Q9.1	DI10_15	Descarregar Palete PA Fresa	
-	DI10_1	Sensor ótico 2 – sensor de intrusão	
-	DI10_2	Sensor ótico 1 – sensor de intrusão	
Q9.2	DI10_3	Botão de impulso “Marcha”	
Q9.3	DI10_4	Botão de impulso “Stop”	
Q8.1	DI10_5	Botão de impulso “Prosseguir”	
-	DI10_10PincaDesp	Sensor indutivo do órgão terminal	
-	DI10_11PincaAper	Sensor indutivo do órgão terminal	
-	DI10_6	Sensor otico do órgão terminal	
-	DI10_7	Sensor ótico do órgão terminal	

Quadro 4-2: Interface Robótica (Saídas).

Entradas PLC		Saídas IRB 1400	
Localização	Localização	Descrição	
I1.0	DO10_9	Palete MP Torno Carregada	
I1.1	DO10_10	Palete MP Fresa Carregada	
I9.0	DO10_11	Palete PA Torno Descarregada	
I9.1	DO10_12	Palete PA Fresa Descarregada	
I9.2	DO10_13	Peça PA Descarregada	
I9.3	DO10_14	Palete Descativada (SA)	
I8.5	DO10_15	Armazém Torno Vazio	
I8.7	DO10_16	Armazém Fresa Vazio	
-	DO10_2	Baliza de sinalização: luz verde	
-	DO10_3	Baliza de sinalização: luz vermelha + som	
-	DO10_1Pinca	Close/Open <i>Gripper</i>	

4.1.1 Start/Stop do setor de armazém

A função principal do robô do setor de armazém é efetuar o carregamento de paletes matérias-primas e o descarregamento de paletes de produtos acabados, para qualquer um dos estilos de peças. Esta função encontra-se representada na Figura 4-2 e constitui a base do algoritmo principal.

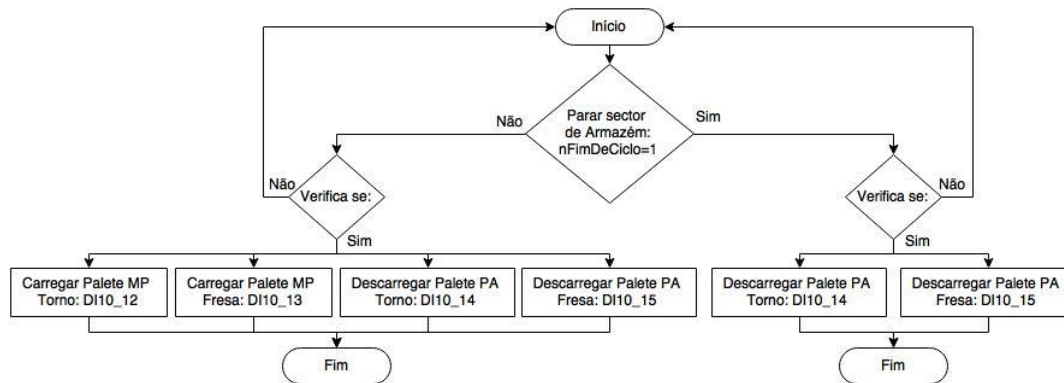


Figura 4-2: Fluxograma do algoritmo da *Main* programa “ProgArmazem.prg”.

O setor de armazém possui dois comandos distintos responsáveis por finalizar e iniciar as respectivas tarefas deste setor. Como se pode verificar na Figura 4-3, quando o setor de armazém é interrompido, esta deixa de efetuar o carregamento de paletes matérias-primas (MP). As paletes produto acabado (PA) continuam a ser recebidas caso estejam carregadas. Esta funcionalidade tem como objetivo deixar o setor desimpedido para que se realizem operações de manutenção. Nesta situação o operador, antes de entrar na zona de trabalho do manipulador, deve verificar se existem paletes PA por descarregar. Este comando também pode ser utilizado para concluir o processo de produção atual e iniciar um novo ciclo de produção. Caso seja dada a instrução de paragem ao setor de armazém durante a execução de uma tarefa de carregamento ou descarregamento, estas continuam a decorrer normalmente até estarem concluídas.

Na função *main* encontram-se definidas duas interrupções que são ativadas quando os botões de impulso “Marcha” ou “Paragem” são pressionados. Quando ocorre uma interrupção a execução do programa é interrompida e é direcionado para uma rotina *trap*, que é executada automaticamente. Para cada interrupção está associada uma rotina *trap* específica.

A Figura 4-3 apresenta os fluxogramas das rotinas “rTrap_Start” a) e “rTrap_Stop” b). Quando é pressionado o botão “Paragem” é ativada uma rotina *trap*, designada por “rTrap_Stop”. Nesta rotina a variável “nFimDeCiclo” é ativada indicando a paragem do setor e de seguida é ligado o alarme sonoro e luminoso da baliza de sinalização. Quando é pressionado o botão “Marcha” a variável “nFimDeCiclo” é desativada a partir da rotina “rTrap_Start”. Nesta rotina a luz verde da baliza é novamente ligada indicando a continuação do funcionamento do setor.

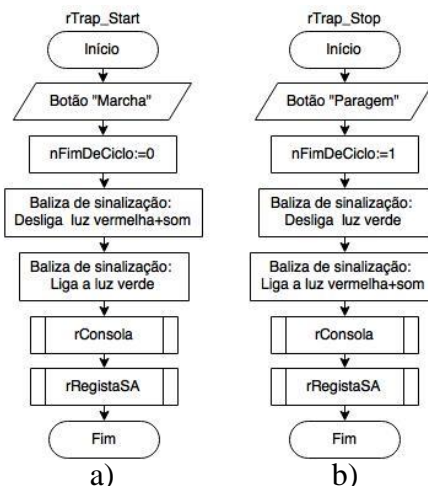


Figura 4-3: Fluxograma das rotinas “rTrap_Start” e “rTrap_Stop”.

A Figura 4-4 apresenta os fluxogramas das rotinas “rConsola” e “rRegistaSA”. Na rotina “rConsola” o ecrã da consola é apagado e é escrito o tipo de evento ocorrido no setor de armazém em função da variável “nFimDeCiclo”. Através da rotina “rRegistaSA”, o evento ocorrido é registado no ficheiro “Avisos.txt”.

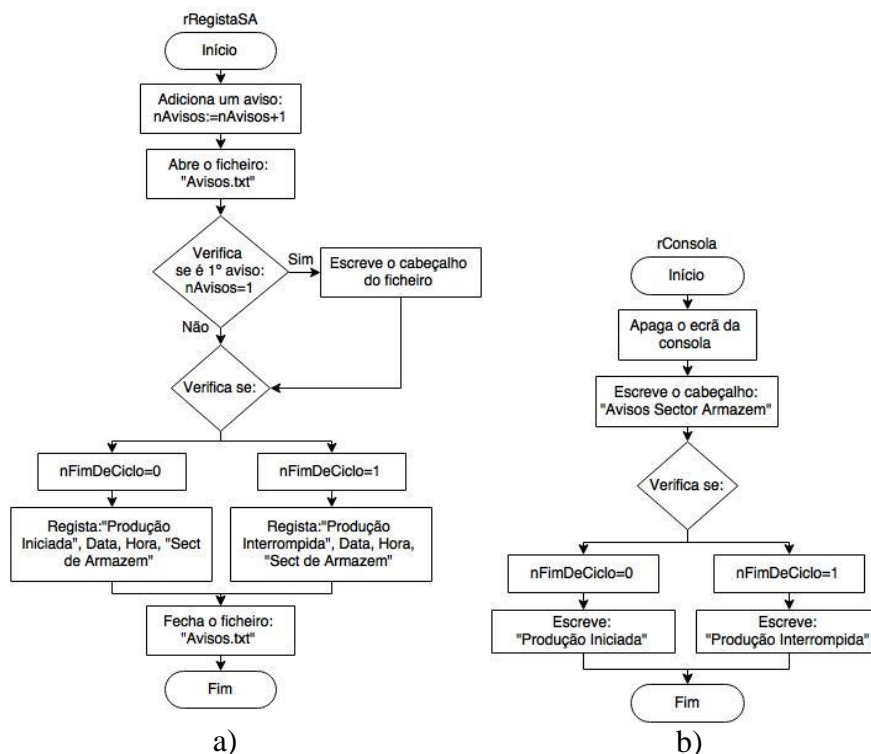
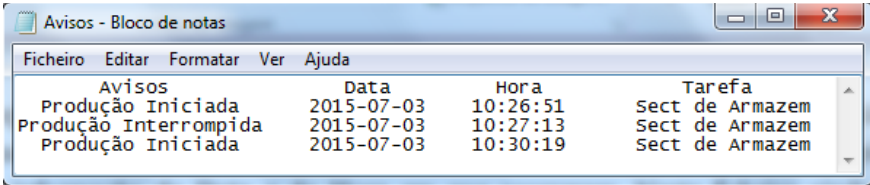


Figura 4-4: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaSA” e “rConsola”.

A Figura 4-5 apresenta um exemplo do ficheiro “Avisos.txt” localizado no disco do controlador do robô IRB 1400, onde são registados os avisos “Produção Iniciada” e “Produção Interrompida”, contendo a informação da Data e da Hora em que ocorreram. Neste ficheiro ainda são registados outros avisos/eventos relativos ao setor do armazém, que serão apresentados nos tópicos seguintes.



Avisos	Data	Hora	Tarefa
Produção Iniciada	2015-07-03	10:26:51	Sect de Armazem
Produção Interrompida	2015-07-03	10:27:13	Sect de Armazem
Produção Iniciada	2015-07-03	10:30:19	Sect de Armazem

Figura 4-5: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

4.1.2 Supervisão das paletes MP

O setor de armazém possui um mecanismo de supervisão que tem como objetivo detetar peças caídas nas paletes de matéria-prima (MP) antes de serem carregadas. Este sistema procura detetar peças caídas que obstruam a colocação de novas matérias-primas. Quando uma paleta MP é descarregada, e no processo de descarga não são detetadas as quatro matérias-primas, o setor de fabrico ativa o sistema de supervisão do setor do armazém, através do Gestor da CFF. O sistema de supervisão das paletes MP Torno e Fresa são ativados os bits DI10_8 e DI10_9, como mostra o Quadro 4-1.

As peças caídas numa paleta MP podem estar dispostas de diversas formas como apresenta a Figura 4-6. Perante esta situação foi necessário assegurar uma função para detetar peças inclinadas a) que por sua vez estão mais elevadas e peças deitadas b). Quando as matérias-primas possuem esta disposição, ou semelhante, não são descarregadas no setor de fabrico. Na primeira situação o *gripper* do robô passa a uma distância superior e na segunda situação o *gripper* do robô passa pela paleta a uma altura inferior para detetar as peças caídas na horizontal. Para efetuar esta operação são utilizados os sensores óticos instalados no *gripper*, associados às entradas DI10_6 e DI10_7.

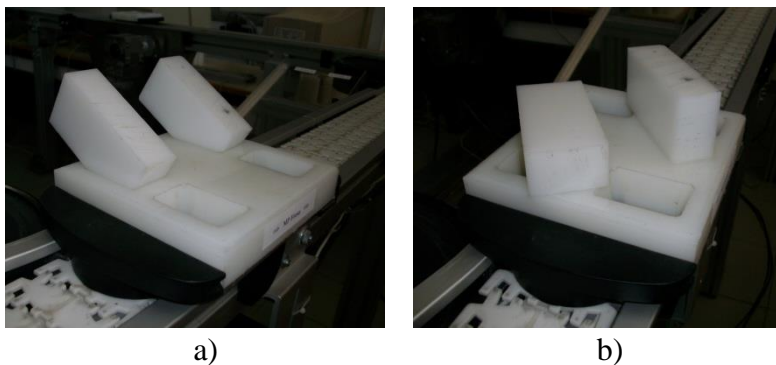


Figura 4-6: Peças caídas.

O operador só é chamado a intervir na CFF quando são detetadas peças caídas. Quando ocorre uma situação destas, o operador da célula terá de retirar as peças caídas da palete cuja identificação é disponibilizada a partir da consola do robô. Enquanto este evento não é corrigido, a paleta MP é desativada das suas funções. Sempre que esta paleta passar pelo setor de armazém é efetuado novamente o algoritmo de supervisão. Assim que o operador retirar as peças caídas da paleta, o algoritmo habilita o carregamento da paleta MP.

Na Figura 4-7 é apresentado o fluxograma de funcionamento do mecanismo de supervisão de paletes MP. Quando é dada a instrução de carregamento de uma paleta MP Torno ou Fresa, através dos bits DI10_12 e DI10_13 respetivamente, o algoritmo principal começa por verificar se a paleta a carregar apresenta risco de possuir peças caídas, através dos bits DI10_8 e DI10_9. Sempre que é ativado o mecanismo de supervisão para uma paleta esta é imediatamente identificada no algoritmo através das variáveis “nControlFresaMP” e “nControlTornoMP”. Quando são detetadas peças caídas é ligado o alarme sonoro e luminoso da baliza de sinalização e são executadas as rotinas “rRegistaPaleta” e “rConsola”.

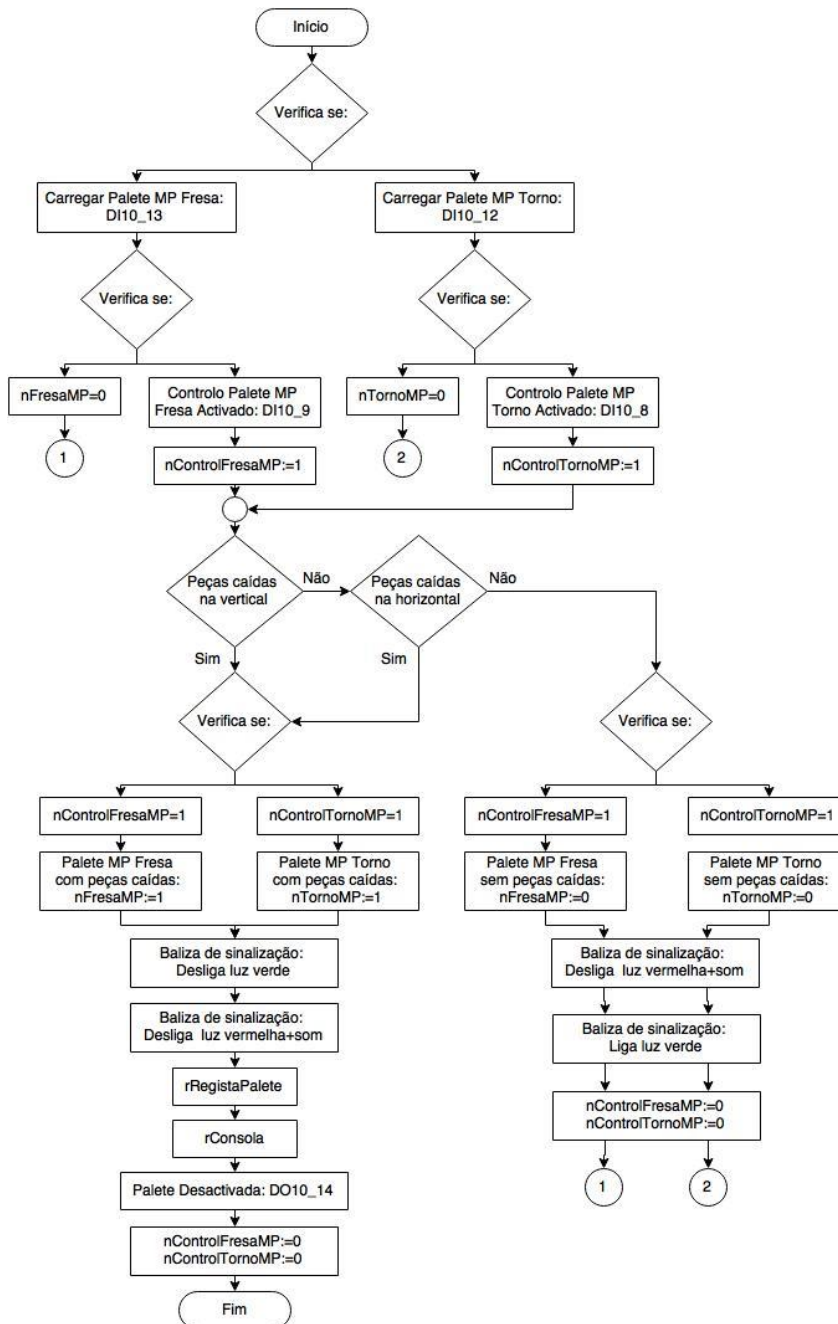


Figura 4-7: Fluxograma de funcionamento do sistema de supervisão de paletes MP.

Por fim, a paleta é desativada através do bit DO10_14, não podendo ser carregada novamente com peças matérias-primas. Esta paleta continua a circular ao longo do transportador, para não interromper outras tarefas que possam ser executadas no setor de armazém. Quando esta paleta regressar ao setor, é novamente executado o mecanismo de supervisão. Caso se verifique que não existem peças caídas a variável “nFresaMP” ou “nTornoMP” é novamente desativada. Quando as variáveis “nFresaMP” e “nTornoMP” se encontram ativadas são responsáveis por inibir o carregamento da paleta MP que se encontra associada. De seguida a paleta é carregada de acordo com o tipo de matéria-prima solicitada e os bits DI10_8 e DI10_9 são desativados pelo Gestor da CFF.

Na Figura 4-8 são apresentados os fluxogramas das sub-rotinas “rRegistaPalete” e “rConsola”. Na rotina “rRegistaPalete”, o evento ocorrido é registado no ficheiro “Avisos.txt”, como mostra a Figura 4-9 b). Na rotina “rConsola”, Figura 4-10 a), o ecrã da consola é apagado e é escrito o tipo de evento ocorrido no setor de armazém em função das variáveis “nFresaMP” e “nTornoMP”.

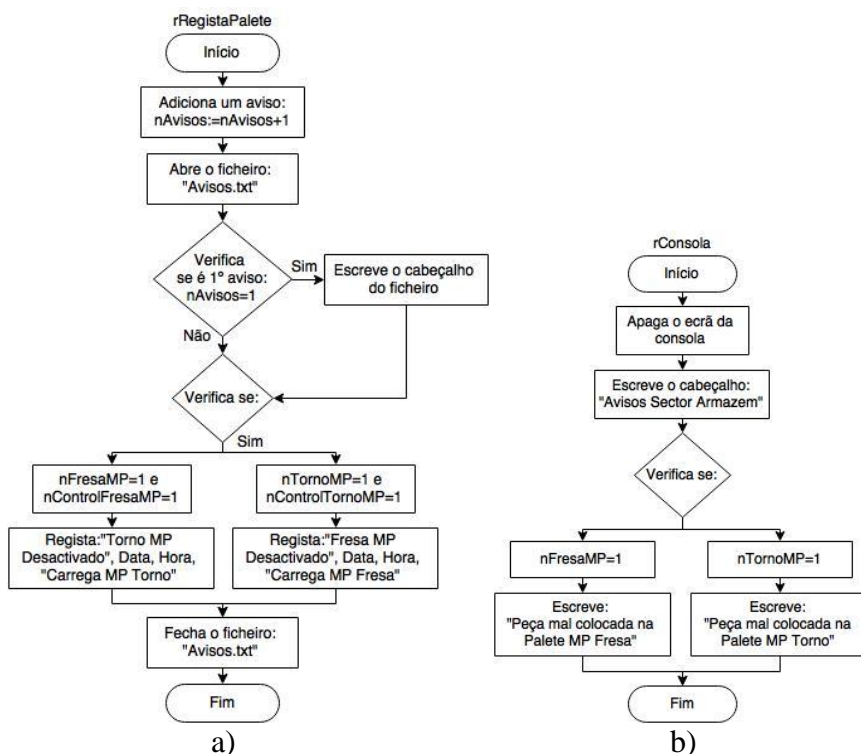


Figura 4-8: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaPalete” e “rConsola”.

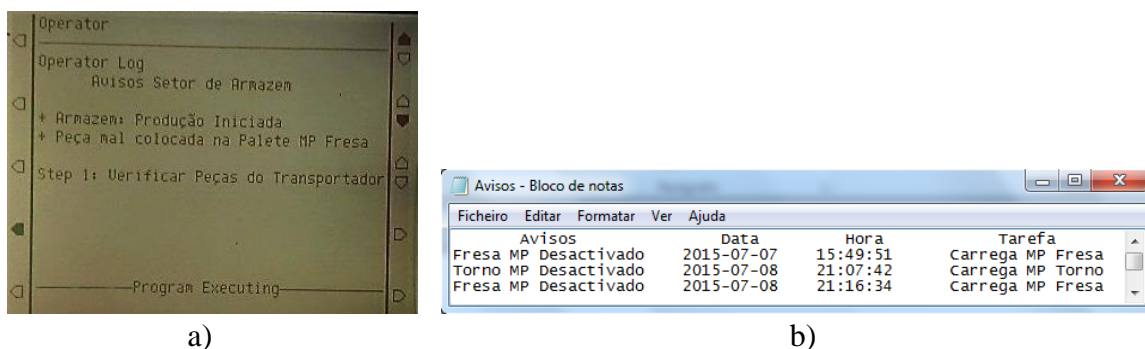


Figura 4-9: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”.

4.1.3 Sistema de armazém

No seguimento do tópico 4.1.2, quando não são detetadas peças caídas, as variáveis “nFresaMP” ou “nTornoMP” são desativadas permitindo o carregamento das matérias-primas. A Figura 4-10 apresenta o fluxograma do funcionamento do sistema Armazém Fresa. Quando

é iniciado o carregamento de uma paleta MP Fresa, o algoritmo começa por verificar se o Armazém Torno 1 se encontra vazio. Caso este armazém tenha peças, o robô desloca-se para a posição do armazém onde foi carregada a última peça da paleta anterior. A posição do armazém fresa é definida através da variável “nColunas Fresa”. O robô consegue detetar a presença de peças através dos sensores indutivos presentes no *gripper*. Se for detetada uma peça, o robô retira-a do armazém e carrega a primeira matéria-prima, através da rotina “rPaletaFresa”. De seguida retorna à mesma posição do armazém e volta a verificar se existe uma peça matéria-prima. Caso não seja detetada nenhuma peça, o manipulador desloca-se para a posição seguinte do armazém. Quando a variável “nColunasFresa” é igual a 33 significa que o Armazém Fresa 1 está vazio, dado que este só possui 32 posições. Nesta situação o manipulador desloca-se para a primeira posição do Armazém Fresa 2 e continua a efetuar o carregamento da paleta MP Fresa. Quando os dois armazéns fresa ficam vazios é executada a rotina “rFimPaletaFresa”.

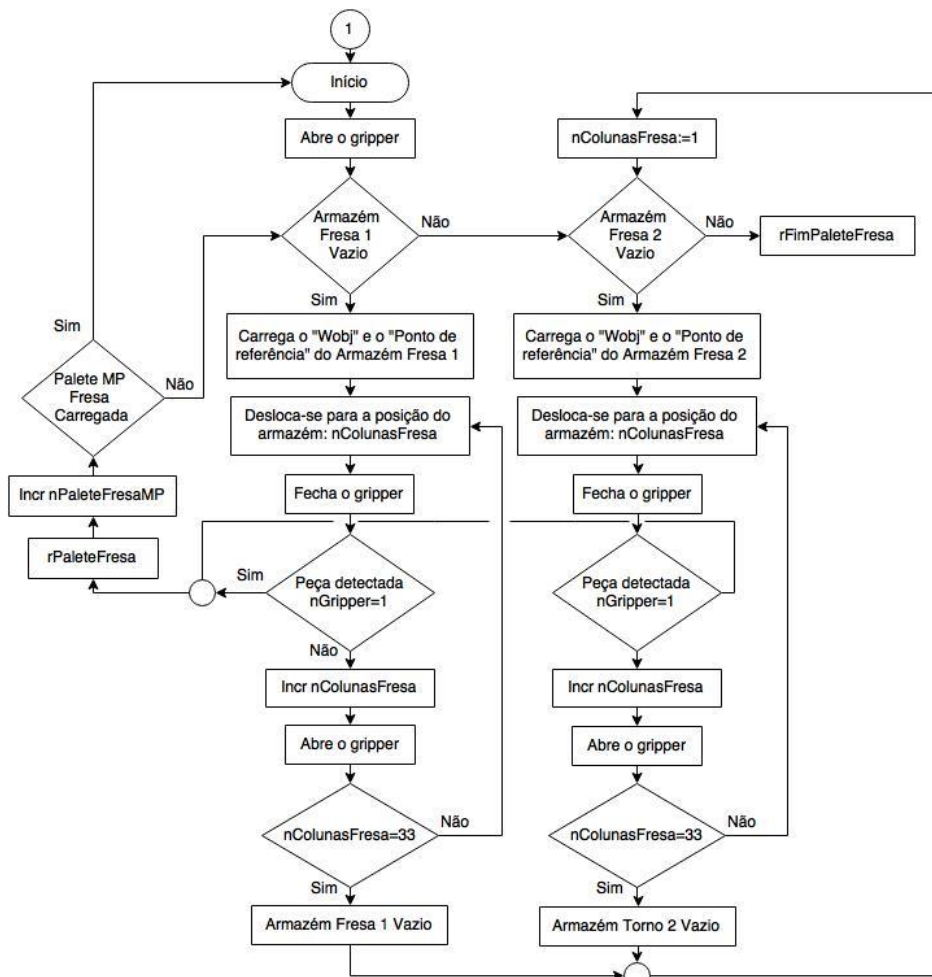


Figura 4-10: Fluxograma do sistema de Armazém Fresa.

Na Figura 4-11 é apresentado o fluxograma do sistema de Armazém Torno. Este sistema apresenta o mesmo funcionamento do sistema de Armazém Fresa. É de referir que estes dois sistemas são independentes um do outro.

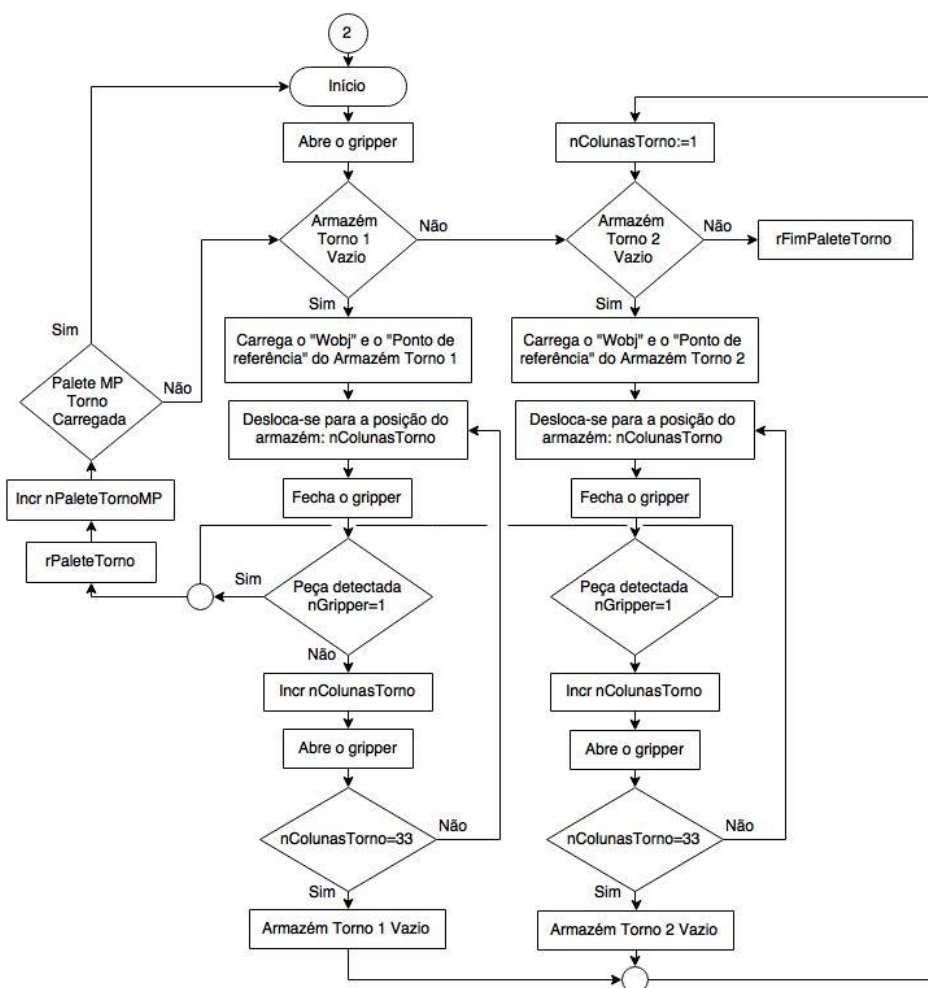


Figura 4-11: Fluxograma do sistema de Armazém Torno.

4.1.4 Sistema de carregamento de paletes matéria-prima

Na Figura 4-12 são apresentados os fluxogramas de funcionamento da rotina “rPaletaFresa” e responsável por efetuar o carregamento de matérias-primas nas respectivas paletes MP. Cada vez que é carregada uma matéria-prima na paleta a variável “nPaletaFresaMP” é incrementada, de acordo com a Figura 4-10. Esta variável é responsável por sinalizar as posições na paleta que já foram carregadas com matérias-primas. Após o carregamento da primeira matéria-prima, a variável “nIndicadorFresa” é ativada e é utilizada para indicar que a paleta possui pelo menos uma peça matéria-prima carregada.

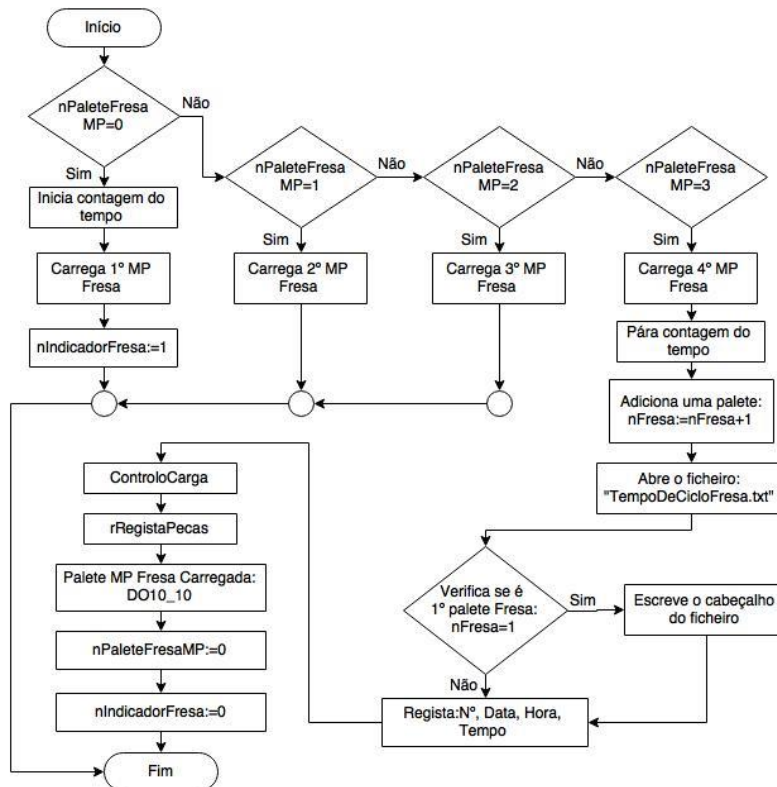


Figura 4-12: Fluxograma da sub-rotina “rPaletaFresa”.

Após o carregamento da quarta matéria-prima é registado no ficheiro “TempoDeCicloFresa.txt” o tempo que demorou o carregamento da respetiva paleta, como apresenta a Figura 4-13. Neste ficheiro ainda se encontram outras informações, como por exemplo: o número de paletes, a data e a hora em que foram carregadas.

Paleta	Fresa	Data	Hora	Tempo de ciclo(seg)
1		2015-07-07	15:28:12	33.174
2		2015-07-07	15:30:00	33.197
3		2015-07-07	15:33:35	31.091
4		2015-07-07	15:39:51	33.128
5		2015-07-07	15:41:54	33.053
6		2015-07-07	15:52:40	31.116
7		2015-07-07	15:56:27	31.045
8		2015-07-07	16:05:01	148.958

Figura 4-13: Exemplo do ficheiro “TempoDeCicloFresa.txt”.

Na Figura 4-14 é apresentado o fluxograma do funcionamento da rotina “rPaletaTorno”. O bit DO10_9 é responsável por sinalizar o carregamento da paleta MP Torno. A Figura 4-15 mostra um exemplo do ficheiro “TempoDeCicloTorno.txt”.

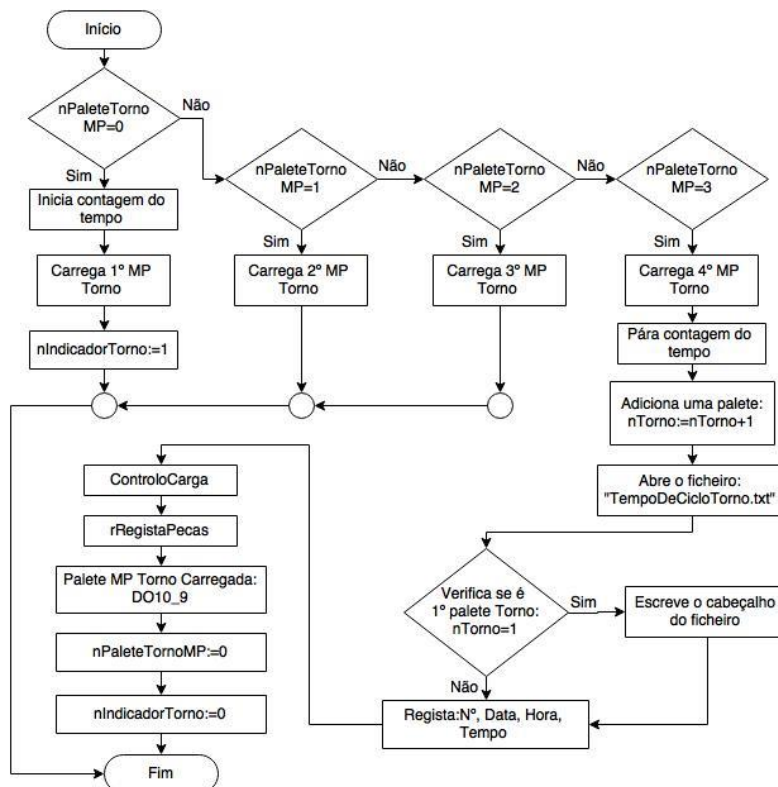


Figura 4-14: Fluxograma da sub-rotina “rPaletaTorno”.

Paleta	Torno	Data	Hora	Tempo de Ciclo(seg)
1		2015-07-07	15:28:59	21.738
2		2015-07-07	15:30:47	22.414
3		2015-07-07	15:36:13	22.969
4		2015-07-07	15:45:09	27.447
5		2015-07-07	15:53:19	26.062
6		2015-07-07	16:01:54	37.484
7		2015-07-07	16:05:49	27.85
8		2015-07-07	16:08:00	30.606

Figura 4-15: Exemplo do ficheiro “TempoDeCicloTorno.txt”.

De seguida é executado o controlo de carga que permite ao operador verificar se todas as peças colocadas na paleta se encontram corretamente posicionadas. Esta função foi introduzida com o objetivo de verificar se existem peças mal colocadas. Esta funcionalidade é assegurada pelos sensores óticos instalados na ferramenta de trabalho. Por fim, é ativada o bit de DO10_10 responsável por sinalizar o fim do carregamento da paleta MP Fresa.

A rotina “rRegistaPecas” é responsável por registar no ficheiro “Avisos.txt” as peças mal posicionadas, caso existam, como apresenta o fluxograma da Figura 4-16. Para cada posição da paleta estão associadas as variáveis nPeca1, nPeca2, nPeca3 e nPeca4 que são ativadas quando não possuem peças matérias-primas. A Figura 4-17 apresenta um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

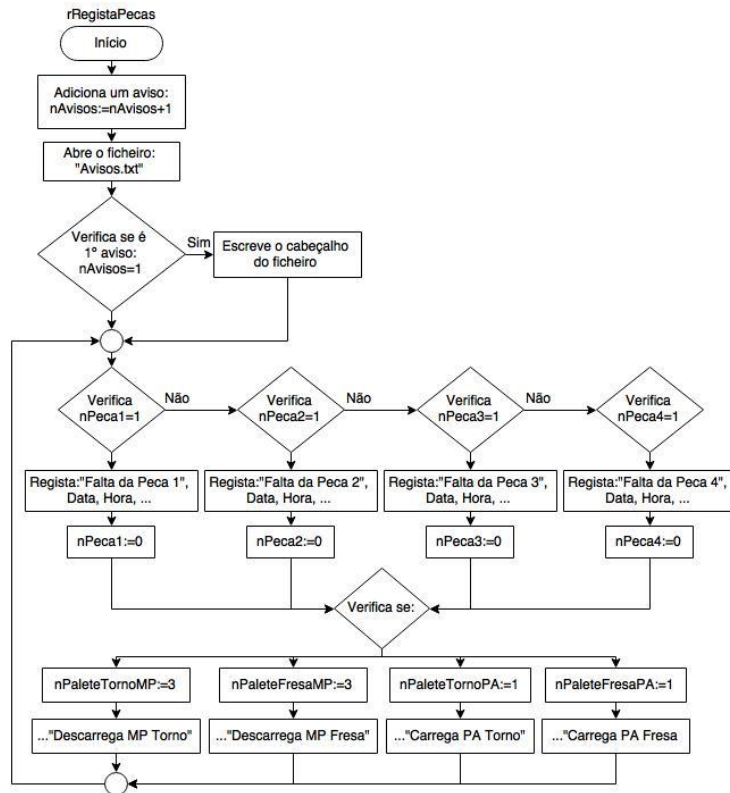


Figura 4-16: Fluxograma da sub-rotina “rRegistaPecas”.

Avisos	Data	Hora	Tarefa
Falta da Peca 1	2015-07-03	10:28:13	Carrega MP Fresa
Falta da Peca 2	2015-07-03	10:28:13	Carrega MP Fresa
Falta da Peca 3	2015-07-03	10:30:18	Carrega MP Torno
Falta da Peca 1	2015-07-03	10:38:07	Carrega MP Fresa
Falta da Peca 2	2015-07-03	10:38:07	Carrega MP Fresa
Falta da Peca 3	2015-07-03	10:38:07	Carrega MP Fresa
Falta da Peca 1	2015-07-03	10:45:10	Carrega MP Torno
Falta da Peca 4	2015-07-03	10:45:10	Carrega MP Torno

Figura 4-17: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

Na Figura 4-18 é apresentado o fluxograma de funcionamento da rotina “rFimPaletaFresa” a) e “rFimPaletaTorno” b). Esta rotina é ativada sempre que o armazém torno ou o armazém fresa ficam vazios, durante o carregamento de uma paleta MP Torno ou Fresa, respetivamente. Este algoritmo começa por verificar a variável “nIndicadorFresa” que indica se a paleta se encontra incompleta ou vazia. Caso a primeira situação se verifique o algoritmo considera a paleta MP carregada, pelo que esta paleta será recebida no setor de fabrico. Na situação da paleta se encontrar vazia esta é colocada apenas em circulação, o que se significa que não será parada no setor de fabrico. Para ambas as situações, na baliza de sinalização é ativado o alarme sonoro e luminoso como também bit DO10_16.

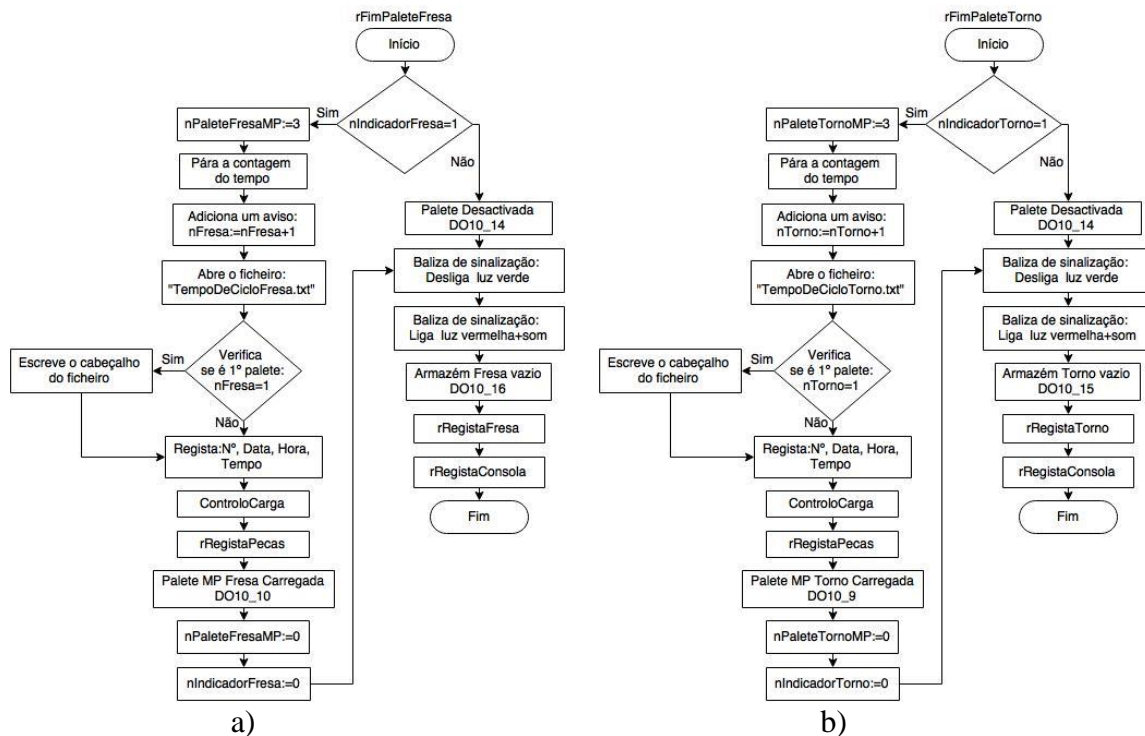


Figura 4-18: Fluxograma da rotina “rFimPaqueteFresa” e “rFimPaqueteTorno”.

De seguida são executadas as rotinas “rRegistaTorno” e “rRegistaFresa”. A Figura 4-19 apresenta o fluxograma de funcionamento das rotinas “rRegistaFresa” a) e “rRegistaTorno” b). Nestas rotinas são registados no ficheiro “Avisos.txt”, o estado de cada armazém quando se encontram vazios ou cheios. Na Figura 4-21 é ilustrado um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

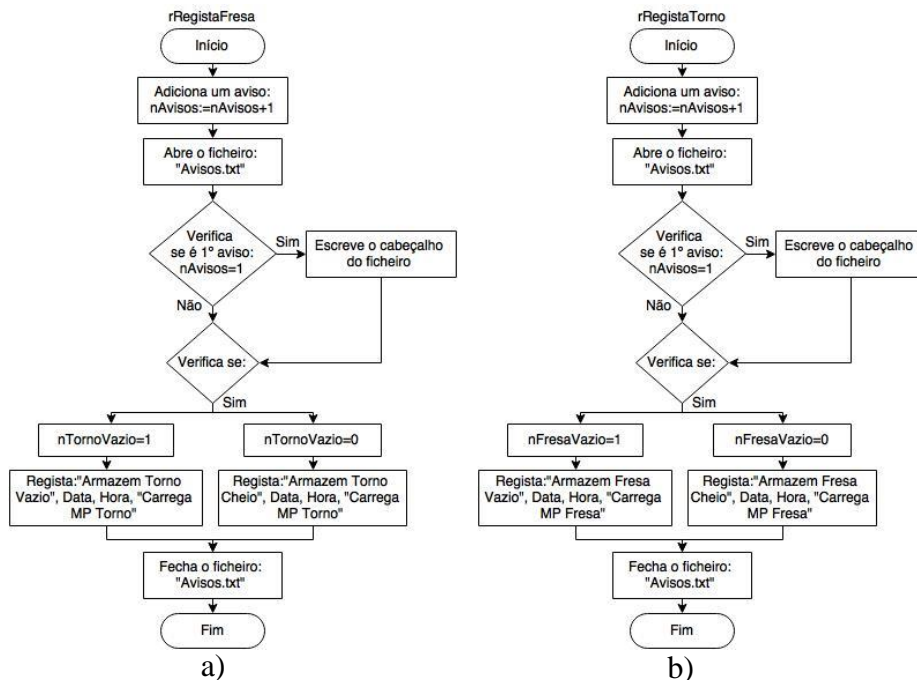


Figura 4-19: Fluxograma de funcionamento das sub-rotinas “rRegistaFresa” e “rRegistaTorno”.

4 - Proposta de solução

Na Figura 4-20 é apresentado o fluxograma de funcionamento da rotina “rConsola”. Esta rotina tem como função comunicar ao operador o estado dos armazéns, vazios ou cheios, como também, o procedimento a adotar no setor de armazém.

Quando um dos armazéns, torno ou fresa, se encontram vazios, as respetivas paletes MP deixam de ser recebidas no setor de armazém, por instrução do Gestor da CFF. Como é exibido na Figura 4-21 a), quando um destes eventos ocorre, está disponível na consola a informação relativa ao armazém que se encontra vazio, como o procedimento a adotar por parte do operador. Nesta situação é pedido ao operador para efetuar o carregamento do armazém e de seguida pressionar o botão de impulso “Prosseguir”.

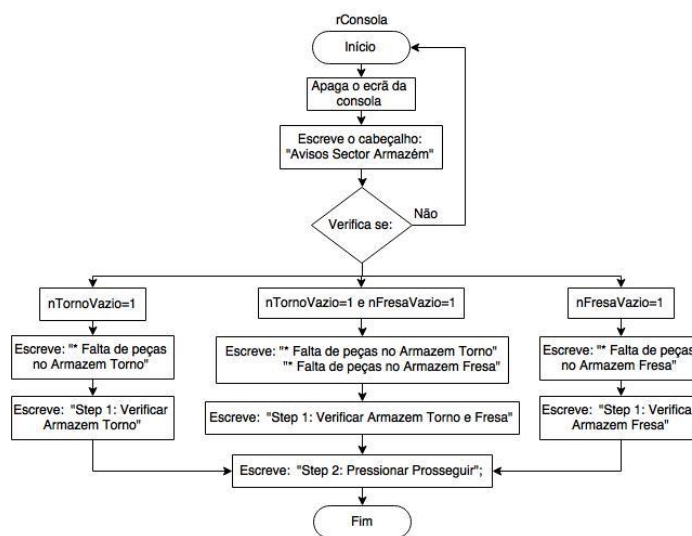


Figura 4-20: Fluxograma de funcionamento da sub-rotina “rConsola”.



Figura 4-21: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”.

Quando é efetuada esta operação é ativada automaticamente uma rotina *trap* designada “rTrap_Arm”, Figura 4-22, que é responsável por desativar os bits “DO10_15” e “DO10_16”, que indicam respetivamente “Armazém Torno Vazio” e “Armazém Fresa Vazio”. De seguida são novamente executadas as rotinas “rRegistaTorno” e “rRegistaFresa”, que registam no ficheiro “Avisos.txt” o instante em que ocorreu o abastecimento de matérias-primas no

respetivo armazém. Por fim, é executada a rotina “rConsola” que apaga no ecrã a sinalização do evento ocorrido.

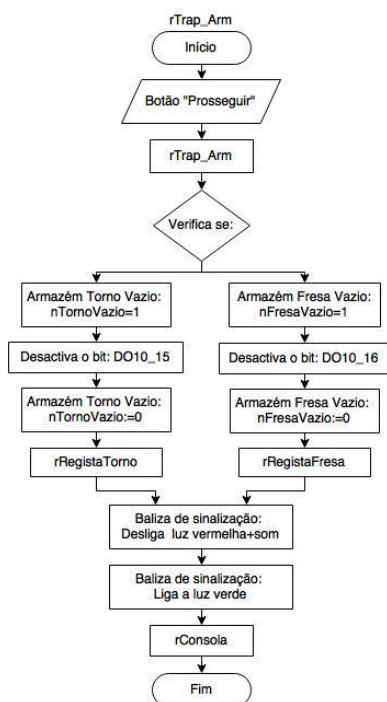


Figura 4-22: Fluxograma da rotina “rTrap_Arm”.

4.1.5 Descarregamento e supervisão de Paletes PA

O setor de armazém é também responsável por efetuar o descarregamento de produtos acabados e por conseguinte efetuar o algoritmo de supervisão associado às paletes PA. A Figura 4-23 apresenta o fluxograma desenvolvido. Quando é ativado o descarregamento de uma paleta PA, através dos bits DI10_14 ou DI10_15, o algoritmo começa por identificar se a paleta foi anteriormente desativada, por conter peças caídas. Em caso negativo, o manipulador começa por descarregar a paleta. Caso sejam descarregados os quatro produtos acabados, a paleta é colocada de imediato em circulação. Só é ativado o mecanismo de supervisão quando não são descarregados os quatro produtos acabados. O objetivo é reduzir o tempo da paleta PA no setor de armazém para que fique imediatamente disponível para ser novamente carregada no setor de fabrico.

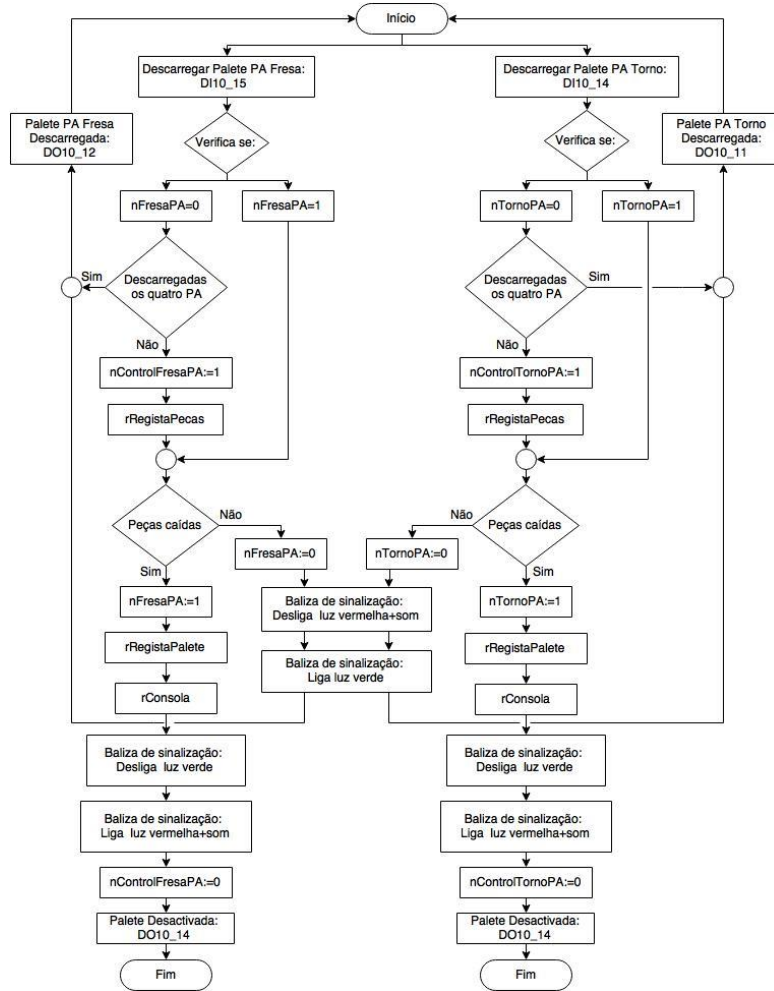


Figura 4-23: Fluxograma de funcionamento do mecanismo de descarregamento e de supervisão das paletes PA.

Quando não são descarregadas os produtos acabados que a paleta deveria possuir, é ativado o mecanismo de supervisão da paleta. Este mecanismo tem como função averiguar se existem, de fato peças caídas na paleta. Se a paleta possuir produtos caídos são executadas as sub-rotinas “rRegistaPalete” e “rConsole” e ativado o sistema de sinalização. De seguida a paleta é colocada em circulação, através do bit DO10_14.

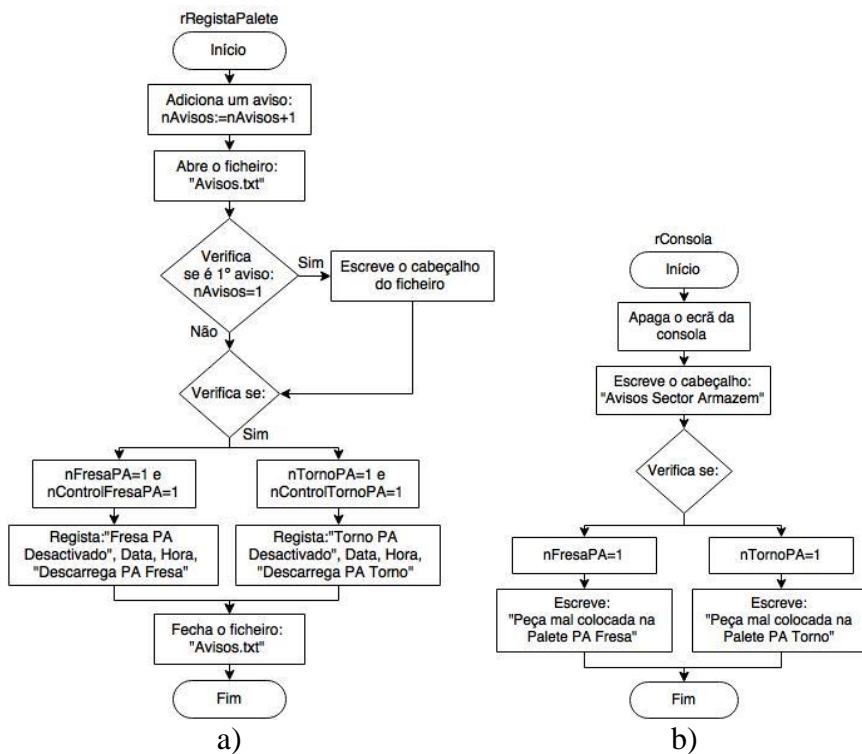


Figura 4-24: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaPaleta” e “rConsola”.

Na Figura 4-25 a) é ilustrado o registo na consola de um evento ocorrido. Como se pode verificar apenas é pedido ao operador para verificar a paleta PA fresa e retirar as peças caídas. Na Figura 4-25 b) é apresentado um exemplo do ficheiro “Avisos.txt” onde se encontram identificadas as paletes com peças caídas.

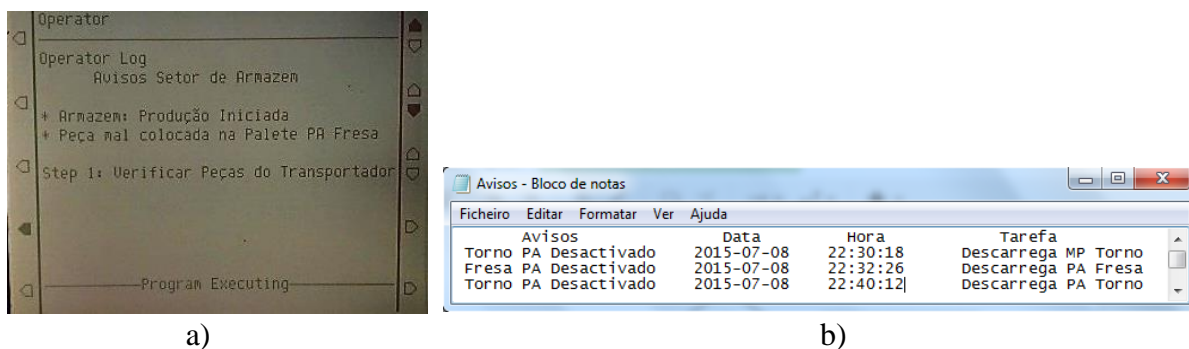


Figura 4-25: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”.

4.1.6 Sistema de emergência e segurança do setor de armazém

O programa “ProgAlarme.prg” tem como função garantir a segurança dos utilizadores da CFF. Este programa funciona em simultâneo com o programa principal, pelo que foi necessário defini-lo como uma *multitask* no controlador do robô. O programa “ProgAlarme.prg” funciona como *multitask* no controlador do robô, tendo prioridade sobre o programa “ProgArmazem.prg”

Na Figura 4-26 a) é apresentado o fluxograma do programa “ProgAlarme.prg”. Como se pode verificar, quando o programa é iniciado este aguarda por um período de tempo de 200ms e de seguida verifica se algum dos sensores óticos foi ativado, através dos bits DI10_1 e DI10_2. Estes sensores são monitorizados permanentemente e são responsáveis pela deteção de intrusões no setor de armazém. Na ocorrência deste alarme, significa que o volume de trabalho do robô foi invadido, conduzindo à paragem do movimento do manipulador, através da instrução “StopMove”. Por conseguinte, o alarme luminoso e sonoro da baliza de sinalização é ativado, e no ecrã da consola é escrito o tipo de falha identificada, como mostra a Figura 4-27 b).

Para continuar a executar as tarefas relativas ao setor de armazém, é necessário que o operador saia da zona de trabalho do manipulador e pressione o botão “Marcha” que se encontra na unidade de controlo do setor de armazém. Antes de ser pressionado o botão “Marcha” o operador deve verificar se existem equipamentos ou pessoas dentro da zona de operação do robô. Quando este botão é pressionado o alarme luminoso e sonoro é desativado, e a luz verde da baliza é novamente ativada, indicando o correto funcionamento do setor. Através da instrução “StartMove” o movimento do robô é retomado a partir do ponto onde ficou imobilizado.

Por fim, através da rotina “rRegistaAlarme”, o alarme ocorrido é registado no ficheiro “Alarme.txt”, como é ilustrado no fluxograma da Figura 4-26 b). Este ficheiro apresenta um histórico com todas as intrusões detetadas no setor de armazém.

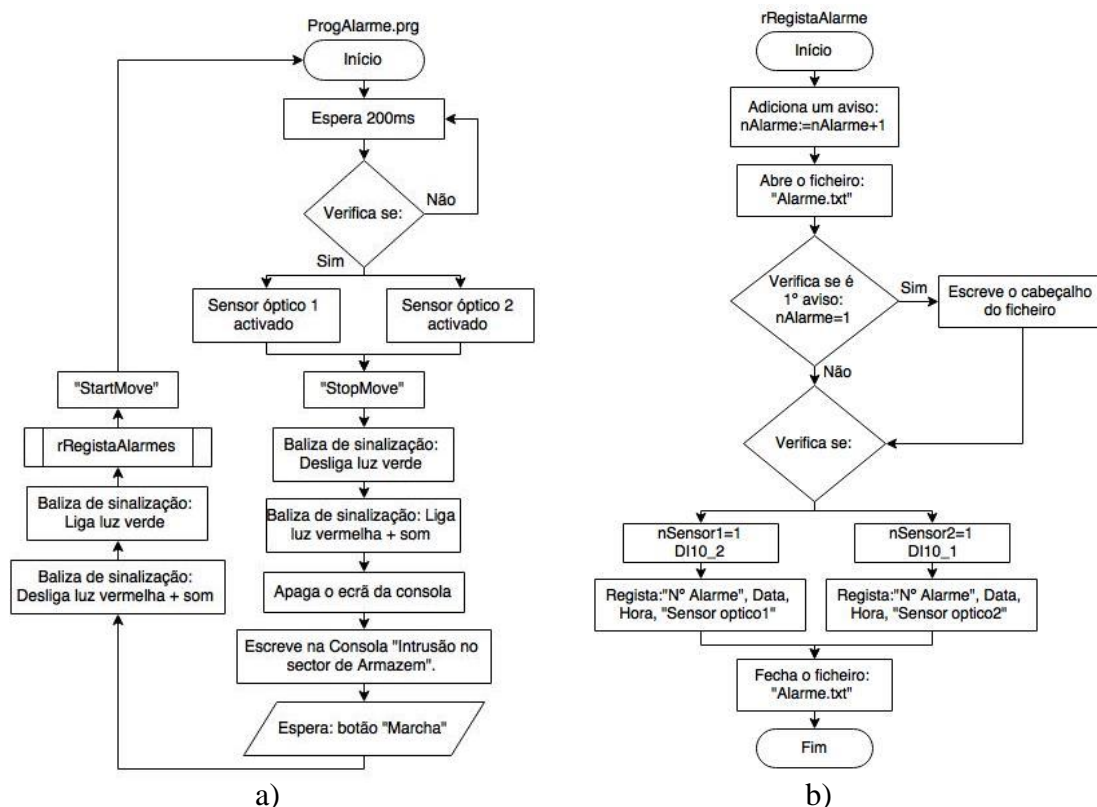


Figura 4-26: Fluxograma do programa “ProgAlarme.prg” e da rotina “rRegistaAlarme”.

A Figura 4-27 b) apresenta um exemplo do ficheiro “Alarmes.txt” que se encontra armazenado no disco do controlador do robô. Como é possível verificar, para cada alarme ocorrido está detalhado o número de alarme, a data, a hora e por último o sensor que ativou o alarme.

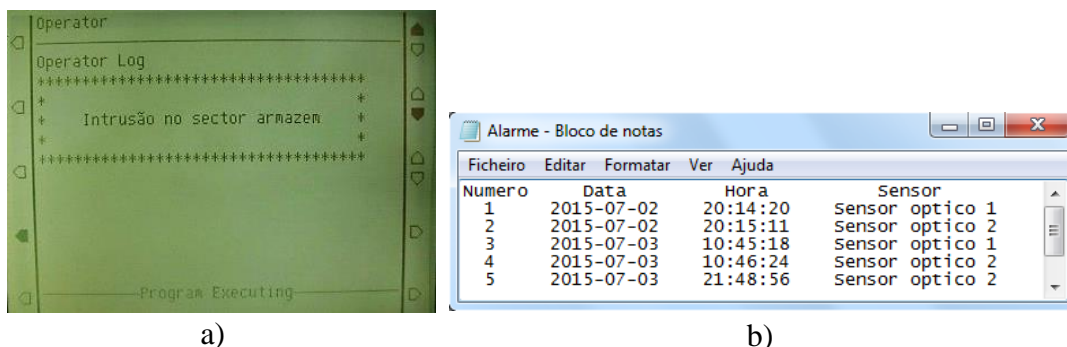


Figura 4-27: Exemplo do registo do aviso na consola e no ficheiro “Avisos.txt”.

4.2 Robô do setor de fabrico

No desenvolvimento do setor de fabrico é necessária a comunicação com o Gestor da CFF e os restantes equipamentos do setor, nomeadamente as máquinas CNC, para que haja uma interação em tempo real entre todos os elementos. Nos Quadros 4-3 e 4-4 são apresentadas, respetivamente, as entradas e saídas do controlador do robô IRB 140 que constituem a *interface* deste equipamento.

Quadro 4-3: Interface Robótica (Entradas).

Saídas PLC		Entradas IRB 140	
Localização	Localização	Descrição	
-	DI12_1	Sensor ótico 2 – sensor de intrusão	
Q9.5	DI12_2	Botão de impulso “Stop”	
Q9.4	DI12_3	Botão de impulso “Marcha”	
Q8.0	DI12_4	Botão de impulso “Manutenção”	
-	DI12_7	Sensor indutivo do órgão terminal	
-	DI12_6	Sensor ótico 1 – sensor de intrusão	
-	DI12_8	Sensor indutivo do órgão terminal	
Q0.6	DI12_9	Descarregar Palete MP Torno	
Q0.7	DI12_10	Descarregar Palete MP Fresa	
Q1.0	DI12_11	Carregar Palete PA Torno	
Q1.1	DI12_12	Carregar Palete PA Fresa	

Quadro 4-4: Interface Robótica (Saídas).

Entradas PLC		Saídas IRB 140	
Localização	Localização	Descrição	
I8.0	DO12_3	<i>Buffer</i> MP Torno Carregado	
I8.1	DO12_4	<i>Buffer</i> MP Fresa Carregado	
I8.2	DO12_5	<i>Buffer</i> PA Torno Carregado	
I8.3	DO12_6	<i>Buffer</i> PA Fresa Carregado	
I1.2	DO12_9	Palete MP Torno Descarregada	
I1.3	DO12_10	Palete MP Fresa Descarregada	
I1.4	DO12_11	Palete PA Torno Carregada	
I1.5	DO12_12	Palete PA Fresa Carregada	
I9.4	DO12_13	Palete MP Incompleta	
I9.5	DO12_14	Palete PA Torno/Fresa vazia	
-	DO10_1Pinca	Close/Open <i>Gripper</i>	

O Quadro 4-5 apresenta a interface robótica estabelecida com as máquinas ferramenta CNC. Esta interface permite o controlo e monitorização das máquinas CNC. Por exemplo: o robô sabe em cada momento se uma determinada máquina CNC está a trabalhar ou parada, o robô pode enviar ordens para as máquinas CNC (abrir ou fechar a porta), entre outras coisas.

Quadro 4-5: Interface Robótica com as máquinas CNC.

Entradas e Saídas IRB 140 - Fresa		Entradas e Saídas IRB 140 - Torno	
Localização	Descrição	Localização	Descrição
DI10_9/DI10_10	Alarme/Avaria	DI10_1	Program Stop
DI10_12	Program Stop	DI10_8	Alarme/Avaria
DO10_9	Fecha a porta	DO10_2	NC Start Torno
DO10_13	NC Start Fresa	DO10_3	Fecha a porta
DO10_14	Fecha o <i>Vice</i>	DO10_4	Abre a porta
DO10_15	Abre o <i>Vice</i>	DO10_7	Fecha o Chuck
DO10_16	Abra a porta	DO10_8	Abre o Chuck

4.2.1 Start/Stop do setor de fabrico

A função principal do robô do setor de fabrico é efetuar o carregamento de paletes produtos acabados e o descarregamento de paletes de matérias-primas, para os dois tipos de peças (fresa e torno). Esta função encontra-se representada na Figura 4-28 e constitui a base de algoritmo principal. Outra funcionalidade assegurada pelo setor de fabrico é o carregamento e o descarregamento das máquinas CNC, torno e fresadora.

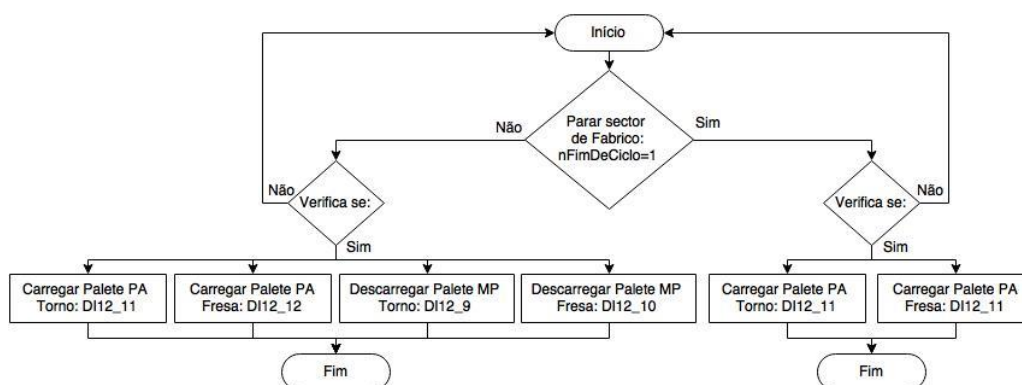


Figura 4-28: Fluxograma do algoritmo da *Main* programa “ProgFabrico.prg”.

O setor de fabrico, à semelhança do setor de armazém, possui dois comandos responsáveis por finalizar e iniciar as tarefas que estão a decorrer no setor. Quando o setor de fabrico é interrompido, as paletes MP mesmo que estejam carregadas, não são interrompidas no setor, continuando em circulação no transportador. Por sua vez, as paletes PA continuam a ser carregadas enquanto os *buffers* possuírem produtos acabados. O objetivo desta funcionalidade é deixar o setor de fabrico desimpedido, caso se pretenda alterar os programas das máquinas CNC para produzir um novo estilo de produto. Nesta situação, o operador, antes de entrar na zona de trabalho do manipulador, deve verificar se existem produtos acabados por descarregar nos *buffers*. Caso seja dada a instrução de paragem ao setor de armazém durante a execução de uma tarefa de carregamento ou descarregamento, estas continuam a decorrer normalmente até estarem concluídas.

Na função *main* encontram-se definidas duas interrupções que são ativadas quando os botões de impulso “Marcha” ou “Paragem” são pressionados. Cada um destes comandos encontra-se associado a uma rotina *trap*.

A Figura 4-29 apresenta os fluxogramas das rotinas “rTrap_Start” a) e “rTrap_Stop” b). Quando o botão “Paragem” é pressionado é executada uma rotina *trap*, designada por “rTrap_Stop” que ativa a variável “nFimDeCiclo”, responsável por sinalizar a paragem do setor. De seguida é ligado o alarme sonoro e luminoso da baliza de sinalização. Quando é pressionado o botão “Marcha”, a variável “nFimDeCiclo” é novamente Desativada a partir da rotina “rTrap_Start”. De seguida, a luz verde da baliza é ligada indicando a continuação do funcionamento do setor. Como é possível verificar, na rotina “rTrap_Start” foram desenvolvidas outras funcionalidades que permitem colocar em funcionamento o setor depois de detetadas falhas nas máquinas CNC. Estas funções são abordadas no tópico 4.2.2.

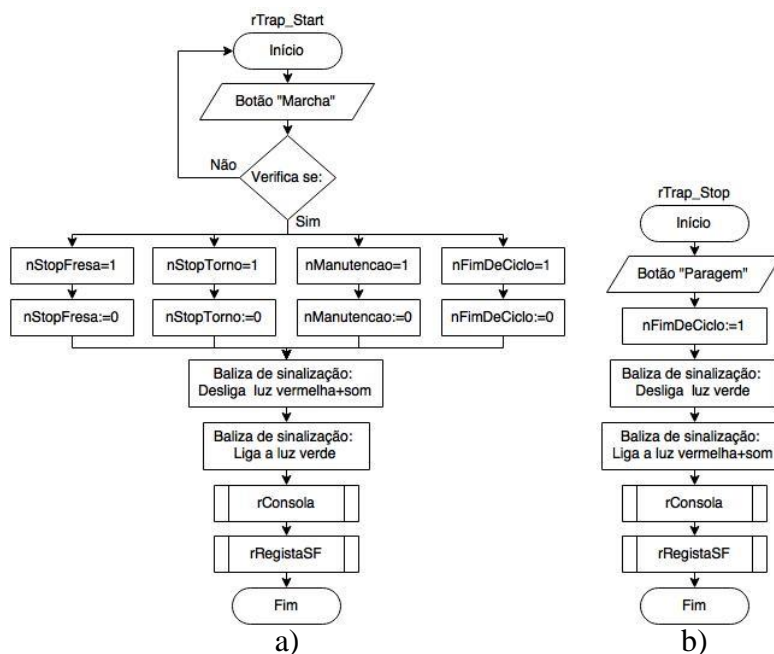


Figura 4-29: Fluxograma das rotinas “rTrap_Start” e “rTrap_Stop”.

De seguida são executadas as rotinas “rRegistaSF” a) e “rConsola” b) que se encontram esquematizadas na Figura 4-30. Na rotina “rConsola” o ecrã da consola é apagado e é escrito o tipo de evento ocorrido no setor de armazém em função da variável “nFimDeCiclo”. Através da rotina “rRegistaSA”, o evento ocorrido é registado no ficheiro “Avisos.txt”.

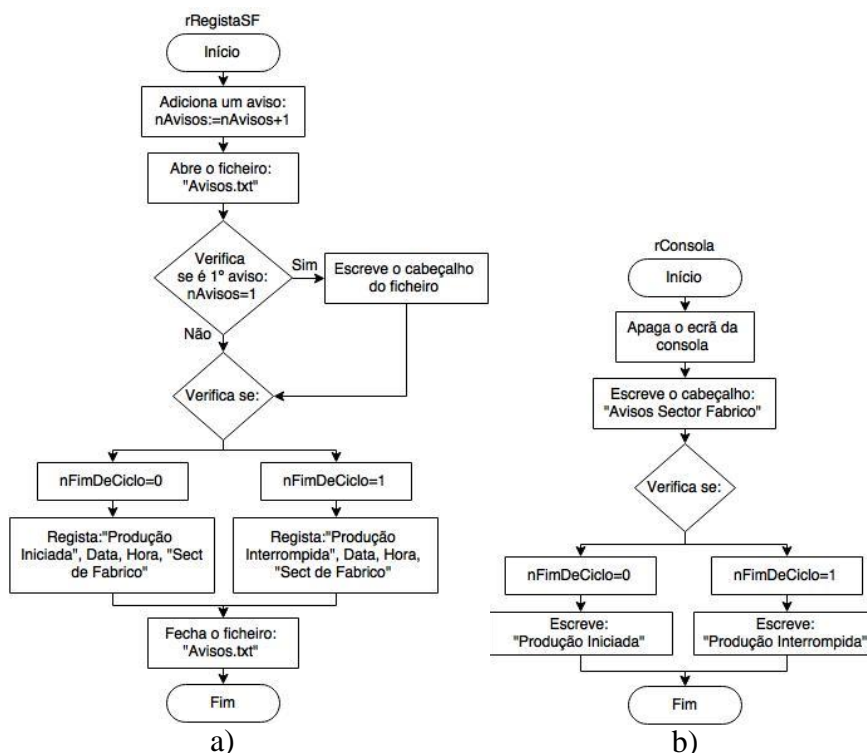


Figura 4-30: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaSF” e “rConsola”.

A Figura 4-31 apresenta um exemplo do ficheiro “Avisos.txt” localizado no disco do controlador do robô, onde são registados os avisos “Produção Iniciada” e “Produção Interrompida”, contendo a informação da data e da hora em que ocorreram. Neste ficheiro ainda são registados outros avisos/eventos relativos ao setor de fabrico, que serão apresentados nos tópicos seguintes.

Avisos	Data	Hora	Tarefa
Produção Iniciada	2015-07-02	15:10:18	Sect de Fabrico
Produção Interrompida	2015-07-02	15:11:23	Sect de Fabrico
Produção Iniciada	2015-07-02	15:12:35	Sect de Fabrico

Figura 4-31: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

4.2.2 Avarias e emergências das máquinas CNC

Um dos fatores que pode afetar a produtividade do setor de fabrico é a ocorrência de falhas das máquinas CNC. Na ocorrência de uma falha, o robô deixa de realizar as tarefas de carregamento e descarregamento associadas a essa máquina, para não correr o risco de provocar danos adicionais nos equipamentos (robô e CNC) e assim não comprometer a continuação das restantes funções do setor de fabrico. Neste sentido, quando ocorre uma falha, de uma máquina, o robô continua a executar as suas funções associadas a outra máquina, para que a produtividade do setor de fabrico não fique completamente comprometida.

Assim, o setor de fabrico apenas fica a funcionar com uma máquina. Para que o tempo de inoperabilidade da máquina seja o mais reduzido possível, o operador é imediatamente informado através do sistema de sinalização local e remoto.

Quando é detetada uma falha de uma máquina CNC, torno e/ou fresa, são executadas respetivamente as rotinas “rTrap_Torno” a) e “rTrap_Fresa” b) como apresenta a Figura 4-32. As variáveis “nStopTorno” e “nStopFresa” que sinalizam o estado das máquinas, são ativadas. Estas variáveis são utilizadas para inibir as tarefas associadas a cada uma das máquinas na ocorrência de uma falha. De seguida o sistema de sinalização é ativado para que o operador possa facilmente reconhecer uma falha do setor de fabrico.

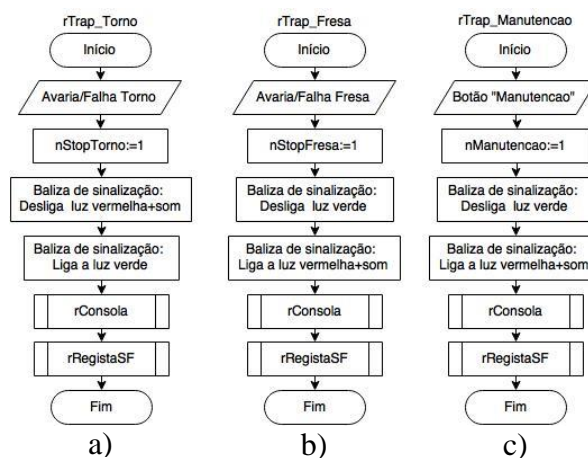


Figura 4-32: Fluxogramas das rotinas “rTrap_Torno”, “rTrap_Fresa” e “rTrap_Manutencao”.

A sub-rotina “rRegistaSF”, apresentada na Figura 4-33 a), é responsável por registar as avarias ocorridas nas máquinas no ficheiro “Avisos.txt”. Na Figura 4-34 b) é apresentado um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”. A partir da sub-rotina “rConsola”, Figura 4-33 b) o tipo de falha identificada, é apresentada na consola, assim como o processo a adotar pelo operador para corrigir a respetiva máquina. Como é possível verificar, quando uma ou as duas máquinas estão avariadas é pedido ao operador para pressionar o botão “Manutenção” da unidade de controlo. Na rotina “rTrap_Manutencao” a variável “nManutencao” é ativado e tem a função de inibir as próximas tarefas que podem ser realizadas pelo robô. Quando o robô se encontra imobilizado o operador pode entrar no setor de fabrico para verificar a máquina CNC. Depois de detetada e corrigida a falha da máquina o operador é instruído para pressionar o botão “Marcha” da unidade de controlo. A partir da rotina “rTrap_Start”, as variáveis de sinalização “nStopTorno”, “nStopFresa” e “nManutencao” são desativadas permitindo a continuação do processo normal do setor de fabrico.

De seguida são executadas novamente as rotinas “rRegistaSF” e “rConsola”. A rotina “rConsola” permite sinalizar o estado de manutenção do setor de fabrico, para que o operador possa verificar que a instrução foi corretamente recebida. Na rotina “rRegistaSF” são

registados no ficheiro “Avisos.txt” as instruções de manutenção e de marcha do setor, como é possível verificar da Figura 4-34 b).

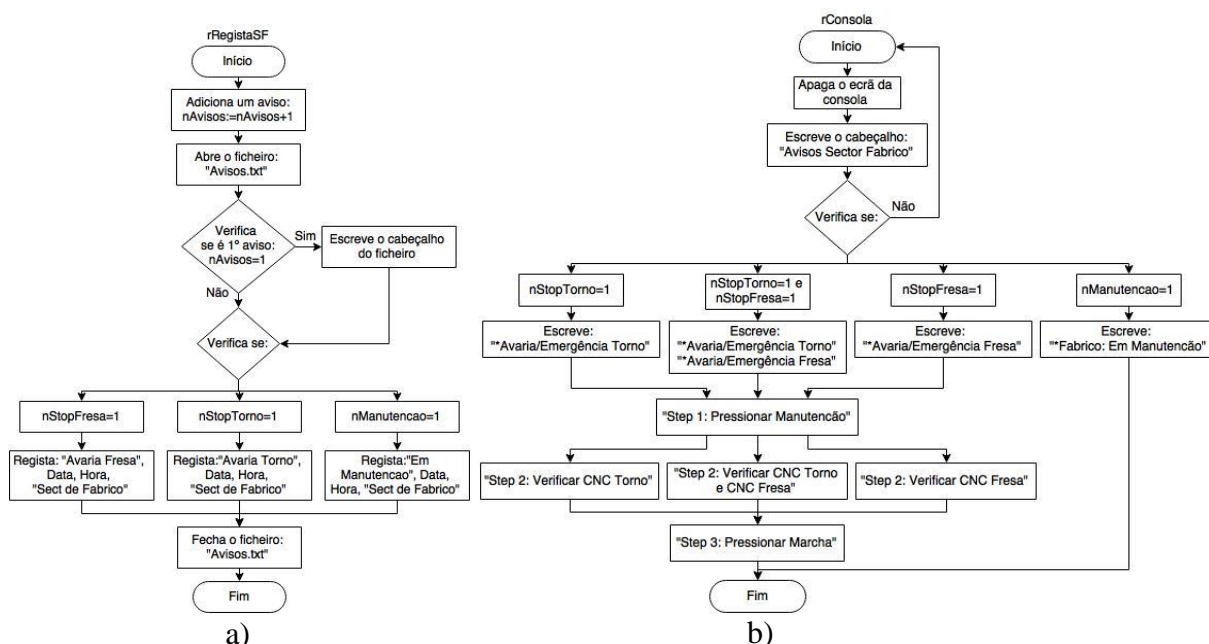


Figura 4-33: Fluxograma das sub-rotinas “rRegistaSF” e “rConsola”.

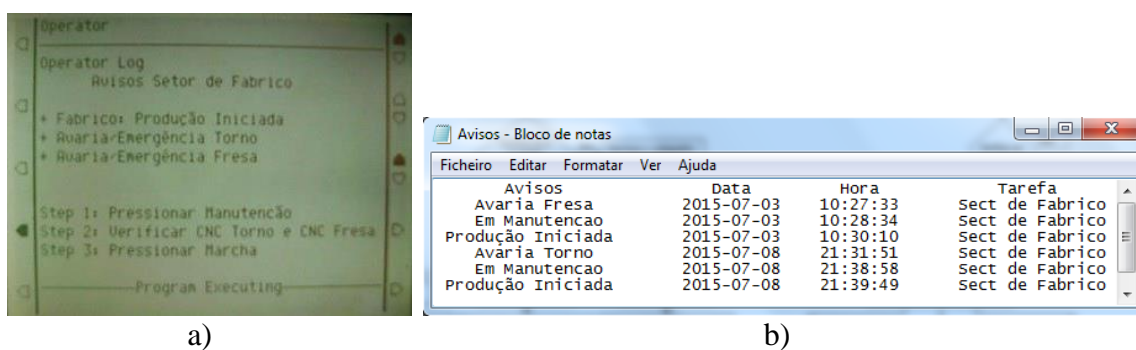


Figura 4-34: Exemplo do registo do aviso na Consola e no ficheiro “Avisos.txt”.

4.2.3 Descarregamento de Paletes MP

Na Figura 4-35 é apresentado o fluxograma do processo de descarregamento das paletes MP Torno. Como se pode verificar nesta figura, este processo só é iniciado quando o Gestor da CFF ativar a entrada DI12_9 do robô que sinaliza o tipo de tarefa a ser executada. Sempre que o robô não detetar a presença de uma peça numa das posições da paleta MP Torno esta é imediatamente sinalizada com a variável “nPecax”.

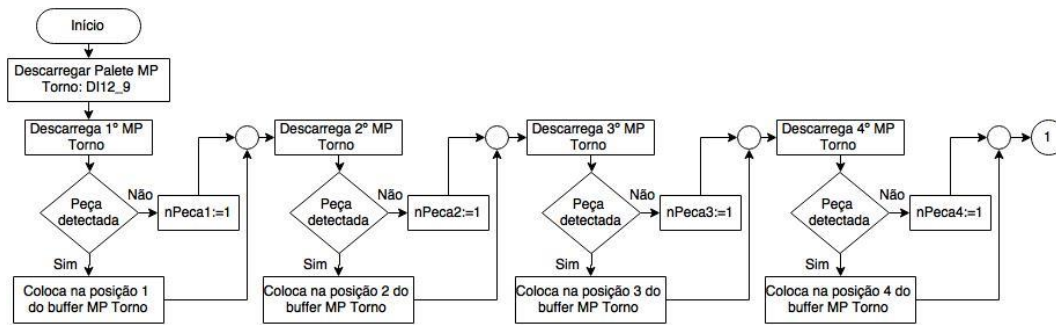


Figura 4-35: Fluxograma do processo de descarregamento das paletes MP Torno.

Na Figura 4-36 é ilustrado o processo de descarregamento das paletes MP Fresa. Esta função é ativada, mais uma vez, pelo Gestor da CFF através do bit DI12_10. O processo apresentado é idêntico ao anterior.

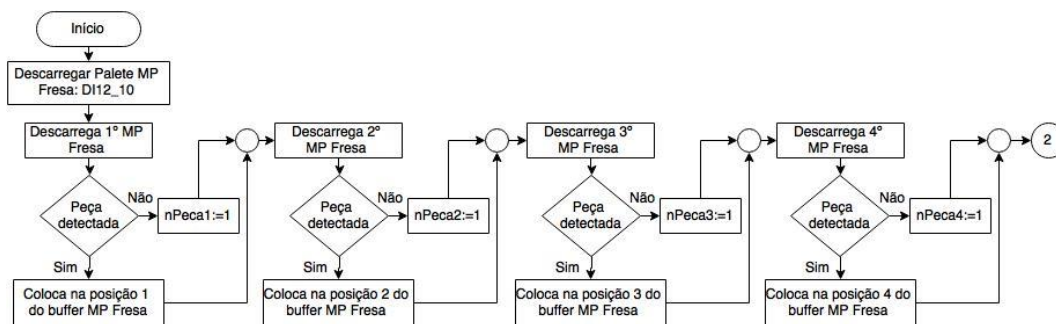


Figura 4-36: Fluxograma do processo de descarregamento das paletes MP Fresa.

Depois de concluído o processo de carregamento do *buffer*, foi desenvolvido um algoritmo para verificar o número de matérias-primas detetadas na paleta. Caso não seja descarregada nenhuma matéria-prima torno, o *buffer* permanece vazio e o Gestor da CFF é informado através da desativação bit DO12_3. Quando são detetadas apenas algumas peças o *buffer* fica carregado e o bit DO12_3 informa o Gestor da CFF que não é permitido receber mais paletes MP Torno. Nestas duas situações, como não foram descarregadas todas as matérias-primas existe o risco da paleta possuir peças caídas. O Gestor da CFF é sinalizado para ativar o controlo da paleta MP Torno, através do bit de saída do robô DO12_13. De seguida é executada a rotina “rRegistaPecas” e é ativado o bit DO12_9 responsável por indicar que a paleta MP Torno foi descarregada. Quando são descarregadas todas as peças matérias-primas apenas são ativados os bits DO12_13 e DO12_9.

O fluxograma da Figura 4-37 a) apresenta o algoritmo desenvolvido para as paletes MP Torno. Na Figura 4-37 b) é apresentado o mesmo fluxograma para as paletes MP Fresa.

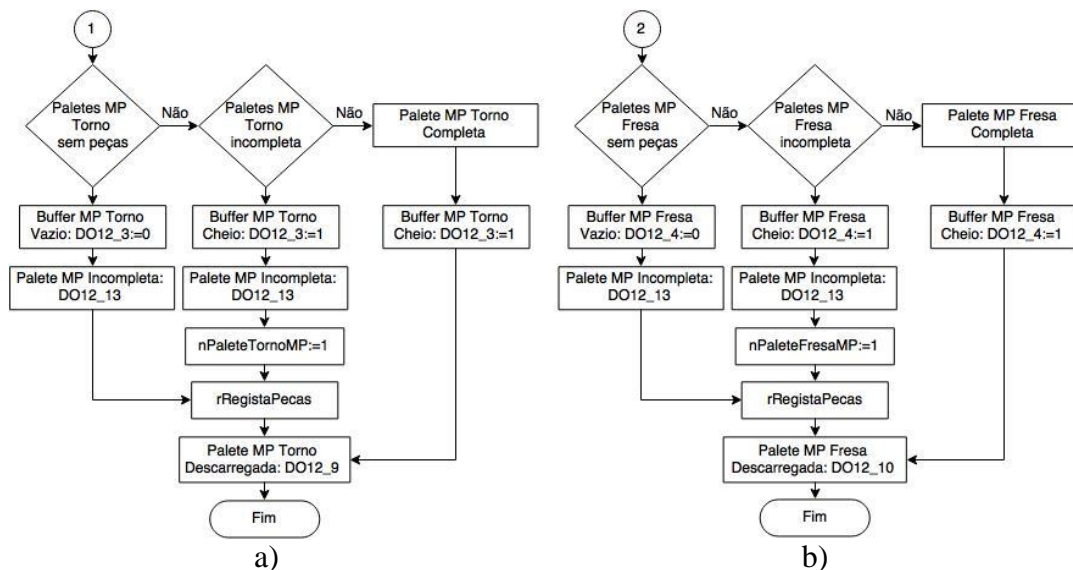


Figura 4-37: Fluxograma do processo de verificação das paletes MP Torno e Fresa.

A sub-rotina “rRegistaPecas”, Figura 4-38, é responsável por registar no ficheiro “Avisos.txt” as peças matéria-prima em falta nas paletes com a identificação da tarefa que estava ser executada. Na Figura 4-39 é apresentado um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”. A partir do ficheiro disponibilizado, o operador poderá identificar as peças que estão frequentemente em falta nas paletes MP. A falta de peças nas paletes pode dever-se a diversas causas, sendo a principal a incorreta colocação de peças durante o carregamento das paletes MP no setor de armazém. Perante esta possibilidade o operador pode comparar os registos do ficheiro “Avisos.txt” do setor de fabrico com o setor de armazém.

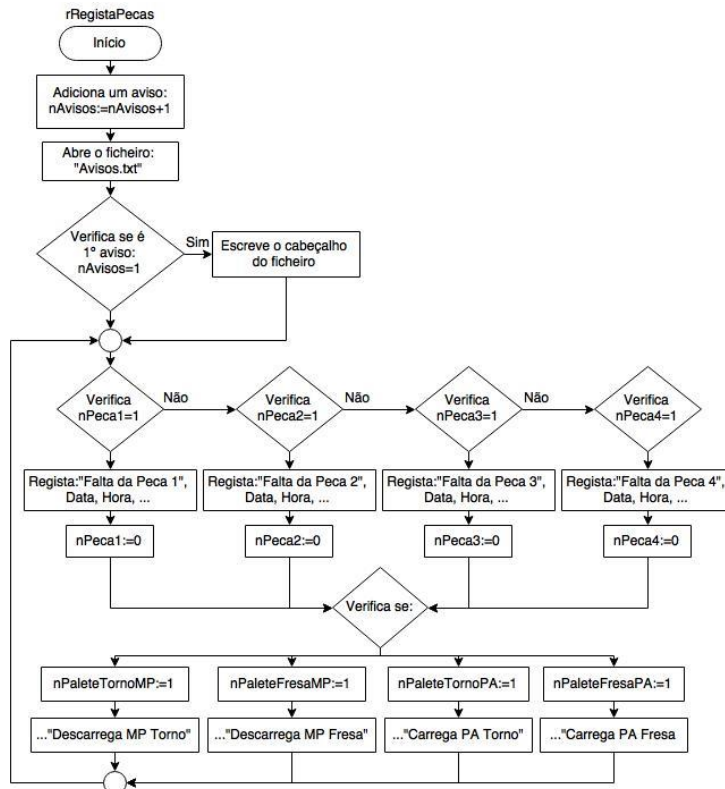


Figura 4-38: Fluxograma da sub-rotina “rRegistaPecas”.

Avisos	Data	Hora	Tarefa
Falta da Peca 2	2015-07-07	15:42:49	Descarrega MP Fresa
Falta da Peca 1	2015-07-07	15:59:23	Descarrega MP Torno
Falta da Peca 2	2015-07-07	15:59:23	Descarrega MP Torno
Falta da Peca 4	2015-07-07	15:59:23	Descarrega MP Torno
Falta da Peca 1	2015-07-07	16:01:40	Descarrega MP Fresa

Figura 4-39: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

4.2.4 Máquina CNC Torno

Após ter sido efetuado o carregamento de matérias-primas torno, o robô IRB 140 tem a função de carregar e descarregar a máquina CNC Torno, como também gerir o sequenciamento das tarefas que serão realizadas. Para além disso, também é responsável por controlar e monitorizar o processo de maquinação, através da interface robótica utilizada.

Assim que o *buffer* de matérias-primas torno se encontrar carregado, o robô começa por verificar se a máquina sinalizou algum alarme que ainda não foi resolvido. Caso se verifique esta situação, o robô não executa qualquer tarefa associada ao torno. Contudo, isto não significa a paragem do processo de fabrico. O robô continua totalmente disponível para efetuar qualquer tarefa relacionada com a outra máquina CNC (fresadora). O robô ainda pode, caso solicitado, efetuar o carregamento e descarregamento das paletes MP e PA fresa. Desta forma, é assegurada a continuidade do funcionamento do setor de fabrico. Se o torno CNC

não possuir nenhum alarme ativo, o robô inicia o processo de verificação das condições para carregar o torno. Para carregar o torno, o *buffer* MP tem de estar carregado com matérias-primas e o *buffer* PA deve estar desimpedido para receber o novo ciclo de produtos acabados. Para além disso, a máquina não pode estar carregada. A variável “nTornoTrab” desativada sinaliza a disponibilidade da CNC Torno. De seguida é executada a rotina “rCarregaTorno”.

O robô apenas poderá descarregar os produtos maquinados quando a variável “nTornoTrab” e o bit DI10_1 estão ativados. O bit DI10_1 indica quando a máquina concluiu o processo de maquinação. Depois de executada a rotina “rDescarregaTorno”, o robô volta a carregar o torno enquanto o *buffer* possui matérias-matérias. Quando uma máquina é descarregada, é colocada logo de seguida outra peça de trabalho. O objetivo é rentabilizar o tempo de utilização da máquina e evitar tempos mortos no processo de fabrico. A Figura 4-40 apresenta o fluxograma desenvolvido para a máquina CNC torno.

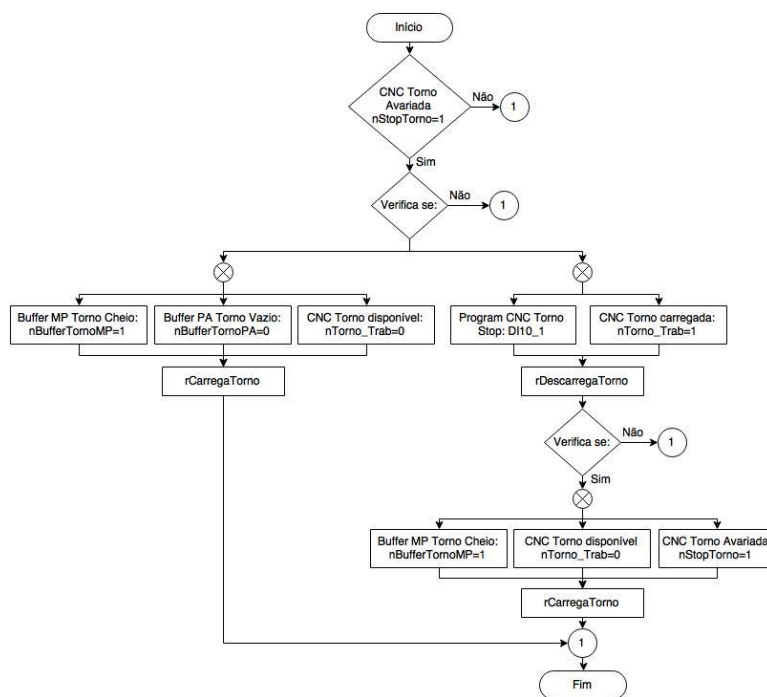


Figura 4-40: Fluxograma do algoritmo de carregamento e descarregamento do torno.

Na Figura 4-41 é apresentado o fluxograma da rotina “rCarregaTorno”. Quando é iniciado o processo de maquinação de um novo ciclo de matérias-primas, o robô começa por carregar a peça que se encontra na posição 1 do *buffer* MP torno. Se for detetada matéria-prima, o robô carrega o torno e ordena a execução do programa na máquina CNC através do bit DO10_2. Depois da peça ser maquinada, esta é colocada na mesma posição 1 no *buffer* PA torno. Esta posição é definida pela variável “nTornoMP:=1”. Enquanto a máquina está a executar o programa da peça, o robô pode executar outras tarefas setor de fabrico, como por exemplo: carregar/descarregar a máquina CNC fresa, transferir peças maquinadas do *buffer* para o transportador, encher o *buffer* com matéria com matérias-primas, etc.

Caso não seja detetada a primeira matéria-prima, o robô desloca-se para a posição seguinte do *buffer*, ou seja para a posição 2, e repete o processo anterior. A variável “nTornoMP:=2” indica a posição seguinte peça de trabalho no *buffer* MP. As variáveis “nPeca1T”, “nPeca2T”, “nPeca3T” e “nPeca4T” quando ativadas indicam as posições do *buffer* MP onde não foram detetadas matérias-primas.

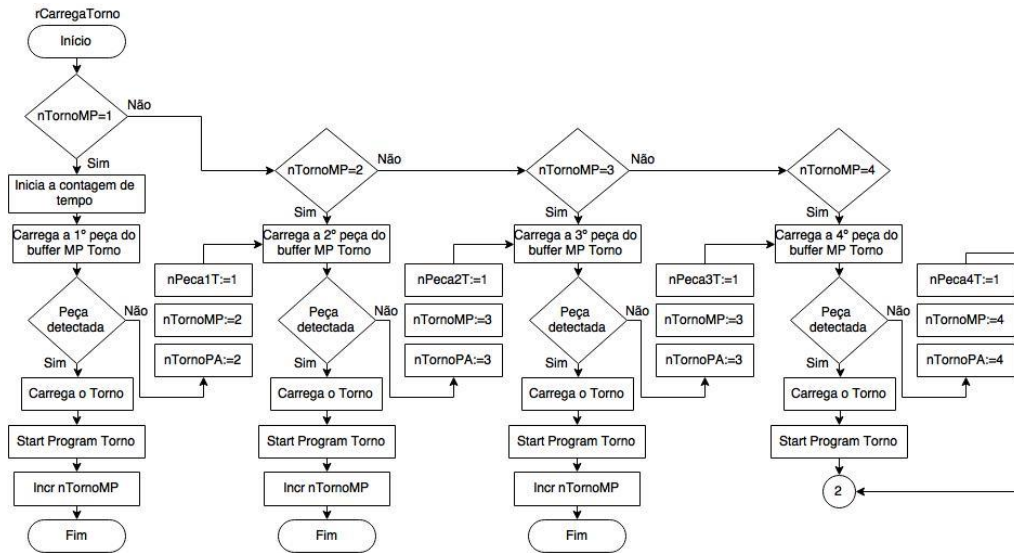


Figura 4-41: Fluxograma da rotina “rCarregaTorno”.

Quando é carregada ou não detetada a peça da posição 4, o robô efetua do algoritmo apresentado na Figura 4-42 a). Neste algoritmo é verificado e atualizado o estado do *buffer* MP em função das variáveis “nPeca1T”, “nPeca2T”, “nPeca3T” e “nPeca4T”. Se forem detetadas matérias-primas o *buffer* não pode receber peças do transportador enquanto não for maquinada a última peça de trabalho, daí estar sinalizado ao Gestor da CFF como carregado através do bit “DO12_3:=1”. Se não forem detetadas peças de trabalho o *buffer* fica imediatamente disponível para receber novas matérias-primas.

Na Figura 4-42 b) é apresentado o fluxograma da sub-rotina “rRegistaTorno”. Esta rotina é responsável por registar no ficheiro “Avisos.txt” as peças não detetadas nas várias posições do *buffer* MP torno em função das variáveis, “nPeca1T”, “nPeca2T”, “nPeca3T” e “nPeca4T”. A Figura 4-45 mostra um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

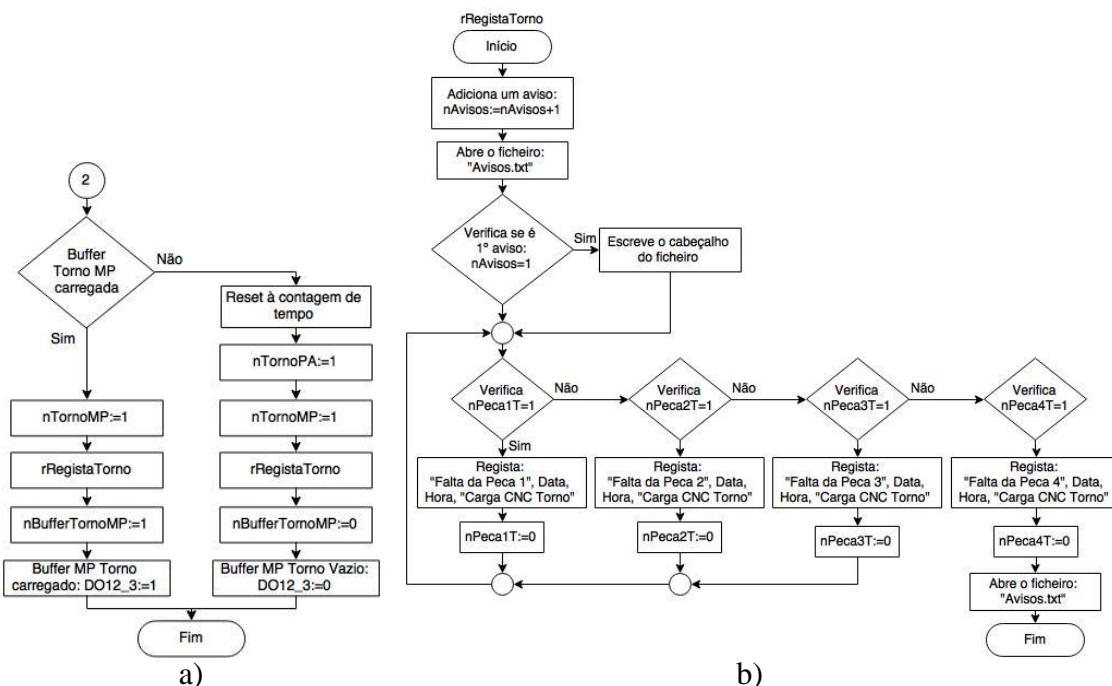


Figura 4-42: Fluxograma da rotina de atualização do estado do *buffer* MP Torno e sub-rotina “rRegistaTorno”.

Na Figura 4-43 é apresentado o fluxograma da rotina “rDescarregaTorno”. Nesta rotina o robô descarrega a peça maquinada no *buffer* PA. De seguida, de acordo com a Figura 4-40, a rotina “rCarregaTorno” é novamente executada. Desta forma o robô carrega novamente a máquina ferramenta. Quando ocorre a queda de uma peça de trabalho no *chuck* esta é imediatamente identificada através da variável “nChuck1”, “nChuck2”, “nChuck3” ou “nChuck4”, dependendo da posição que esta ocupava no *buffer* MP. Sempre que ocorrer esta situação o robô executa a “rCarregaTorno” para recarregar novamente a máquina, caso o *buffer* ainda possua matérias-primas.

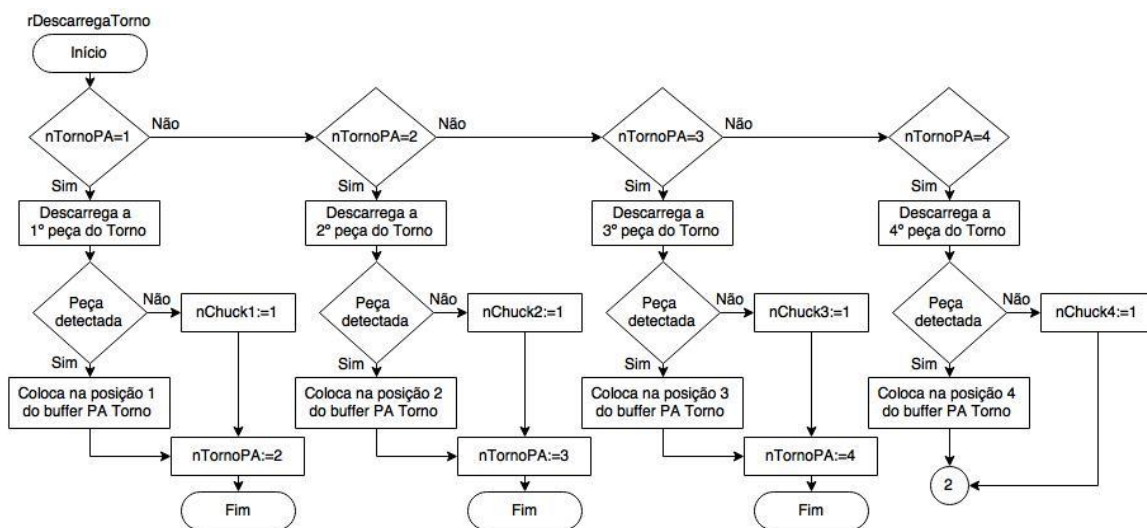


Figura 4-43: Fluxograma da rotina “rDescarregaTorno”.

De seguida é executado o algoritmo da Figura 4-44 a) responsável por atualizar o estado do *buffer* PA Torno. Quando o processo de maquinação é concluído o algoritmo verifica se foram descarregados os produtos acabados da CNC para o *buffer* PA. Quando são descarregados todas as peças maquinadas ou apenas algumas, o *buffer* PA Torno está carregado e por isso é ativado o bit DO12_5 que informa ao Gestor da CFF para efetuar a paragem da paleta PA Torno no setor de fabrico. Por outro lado, como foi descarregada a última peça maquinada, o *buffer* MP Torno fica disponível para receber novas matérias-primas. Assim a variável DO12_3 é Desativada. Na situação de todas as peças colocadas na máquina terem caído, o *buffer* PA Torno não fica carregado e por isso tanto este como o *buffer* MP Torno ficam disponíveis para receber um novo ciclo de produtos acabados e de matérias-primas, respetivamente.

Na Figura 4-44 b) é apresentado fluxograma da sub-rotina “rRegistaCNCTorno”. Esta rotina é responsável por registar no ficheiro “Avisos.txt” as peças que caíram dentro da máquina CNC Torno em função das variáveis, “nChuck1”, “nChuck2”, “nChuck3” e “nChuck4”. A Figura 4-45 mostra um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

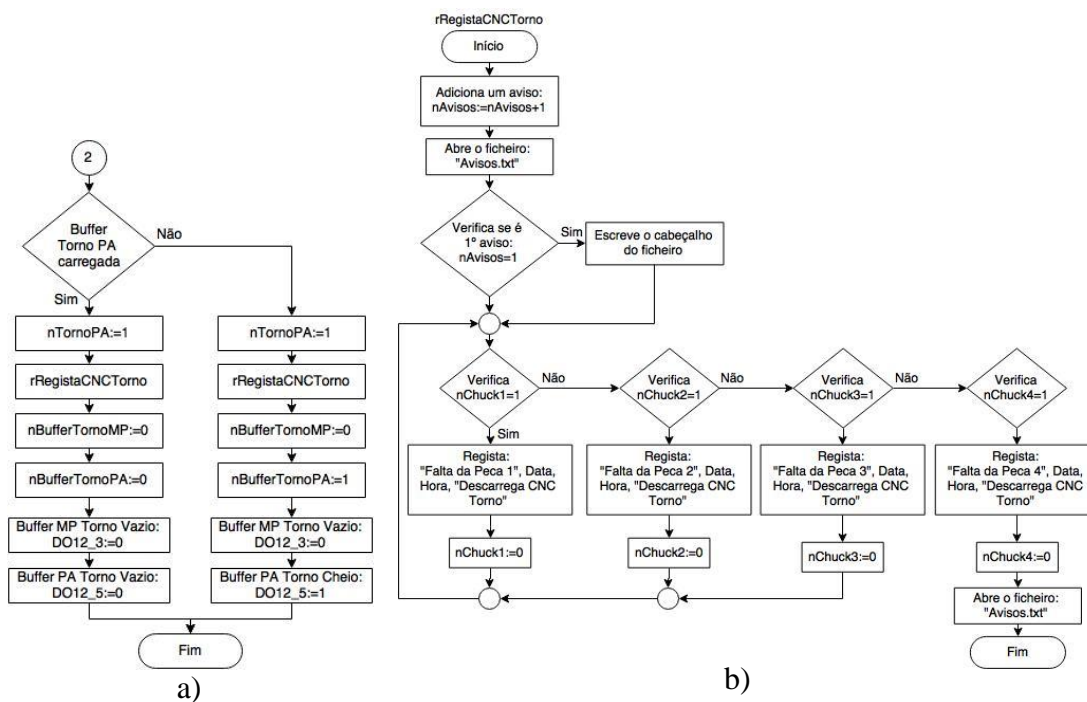


Figura 4-44: Fluxograma da rotina de atualização do estado do *buffer* PA Torno e sub-rotina “rRegistaCNCTorno”.

Avisos	Data	Hora	Tarefa
Falta da Peça 2	2015-07-03	10:46:11	Carga CNC Torno
Falta da Peça 3	2015-07-03	10:46:11	Carga CNC Torno
Falta da Peça 2	2015-07-07	15:56:28	Carga CNC Torno
Falta Peça 1 no Vice	2015-07-07	16:30:24	Descarrega CNC Fresa
Falta Peça 2 no Vice	2015-07-07	15:30:24	Descarrega CNC Fresa
Falta da Peça 2	2015-07-07	15:48:26	Carga CNC Torno

Figura 4-45: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

4.2.5 Máquina CNC Fresa

Neste seção são apresentados os fluxogramas equivalentes ao tópico 4.2.4 para a máquina CNC Fresa. O fluxograma da Figura 4-46 apresenta o algoritmo de carregamento e descarregamento da fresadora. Este é semelhante ao detalhado no tópico 4.2.4, Figura 4-40. À semelhança do torno, quando é detetada uma falha na fresadora, as funções associadas a esta são desabilitadas. Contudo o robô fica disponível para efetuar outras tarefas no setor de fabrico como por exemplo: carregar e descarregar a outra máquina CNC, carregar matérias-primas e transferir produtos acabados para o transportador.

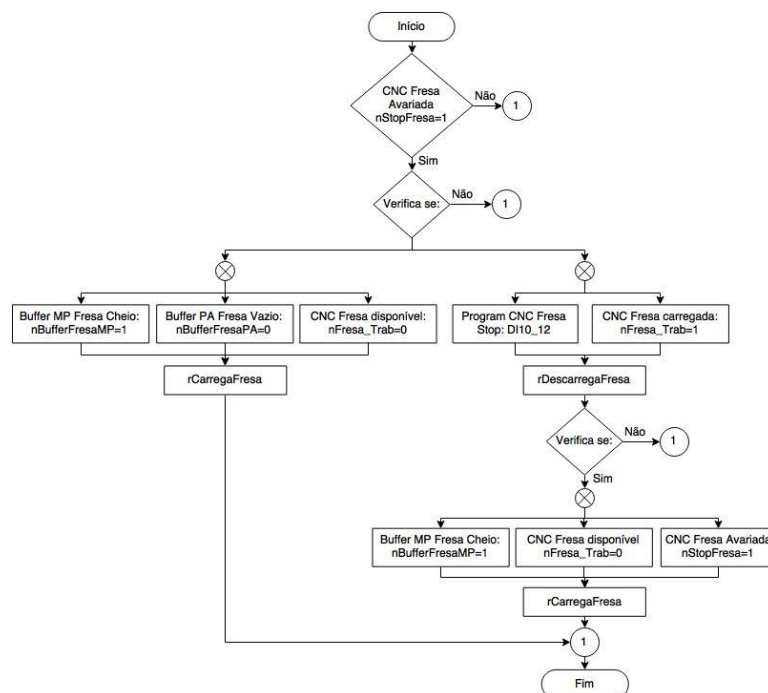


Figura 4-46: Fluxograma do algoritmo de carregamento e descarregamento do Fresa.

Na Figura 4-47 é exibido o fluxograma da rotina “rCarregaFresa”. Esta rotina possui o mesmo processo da rotina “rCarregaTorno”. A variável “nFresaMP” indica a posição da peça de trabalho no *buffer* MP Fresa que irá ser carregada na máquina CNC. A variável “nFresaPA” sinaliza a posição no *buffer* PA onde será colocada a peça maquinada. Depois de descarregadas todas as matérias-primas do *buffer* MP Fresa é executado o algoritmo da Figura 4-48 a), à semelhança do algoritmo da Figura 4-42 a).

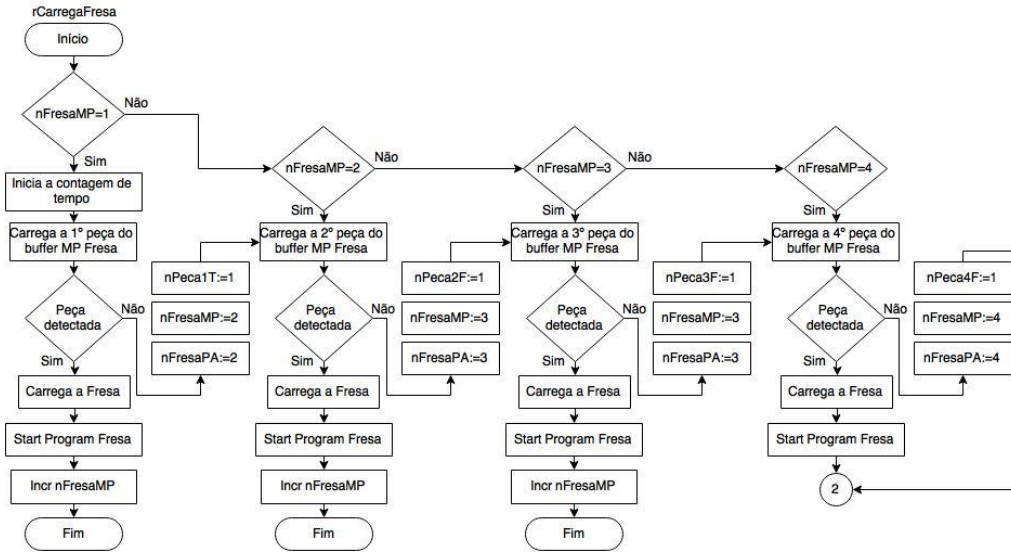


Figura 4-47: Fluxograma da rotina “rCarregaFresa”.

Na Figura 4-48 b) é apresentado o fluxograma da sub-rotina “rRegistaFresa”. Esta rotina é responsável por registar no ficheiro “Avisos.txt” as peças não detetadas nas várias posições do *buffer* MP Fresa em função das variáveis, “nPeca1F”, “nPeca2F”, “nPeca3F” e “nPeca4F”. A Figura 4-51 mostra um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

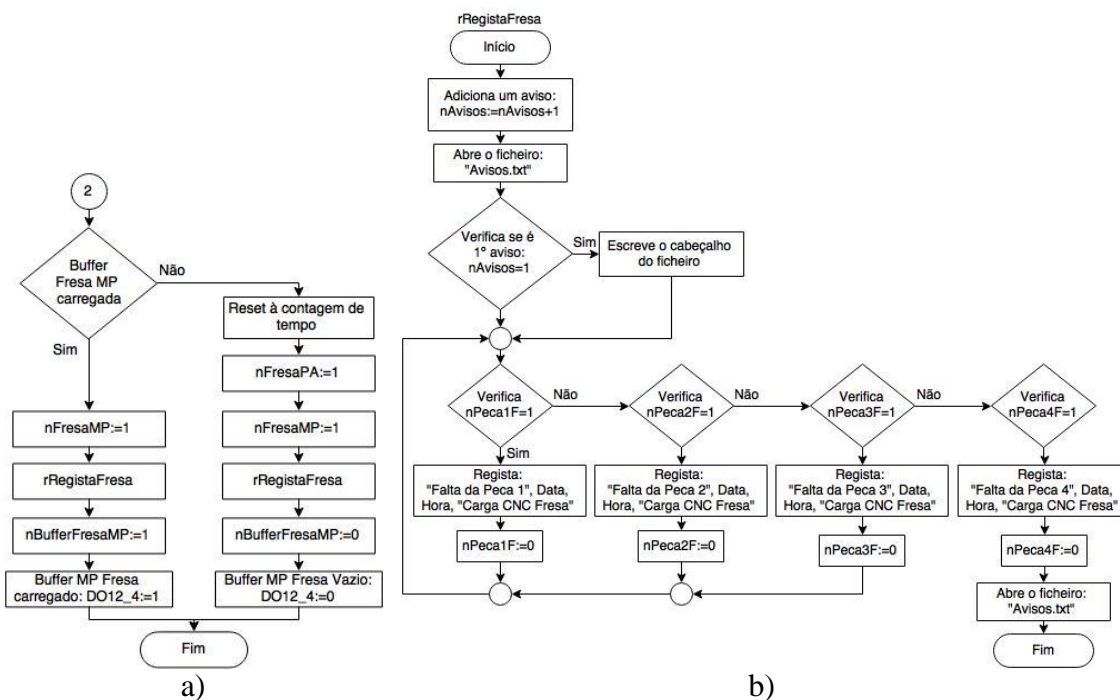


Figura 4-48: Fluxograma da rotina de atualização do estado do *buffer* MP Fresa e sub-rotina “rRegistaFresa”.

Na Figura 4-49 é apresentado o fluxograma da rotina “rDescarregaFresa”. O processo exibido é o mesmo da rotina “rDescarregaTorno”. Depois de maquinadas todas as peças de trabalho

associadas a um ciclo de matérias-primas, é executado o algoritmo da Figura 4-50 a). Este algoritmo possui a mesma funcionalidade do algoritmo apresentado na Figura 4-44 a).

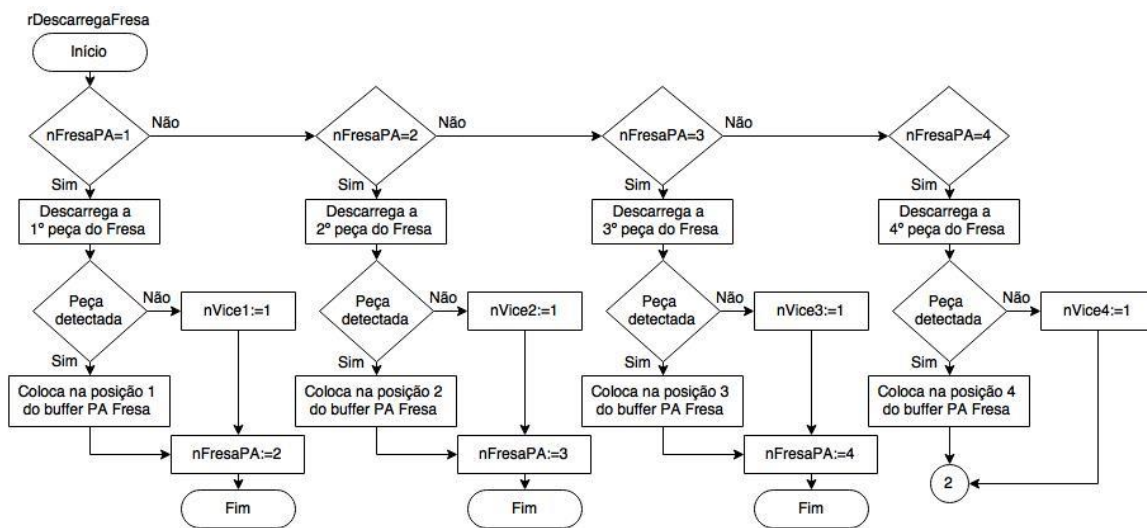
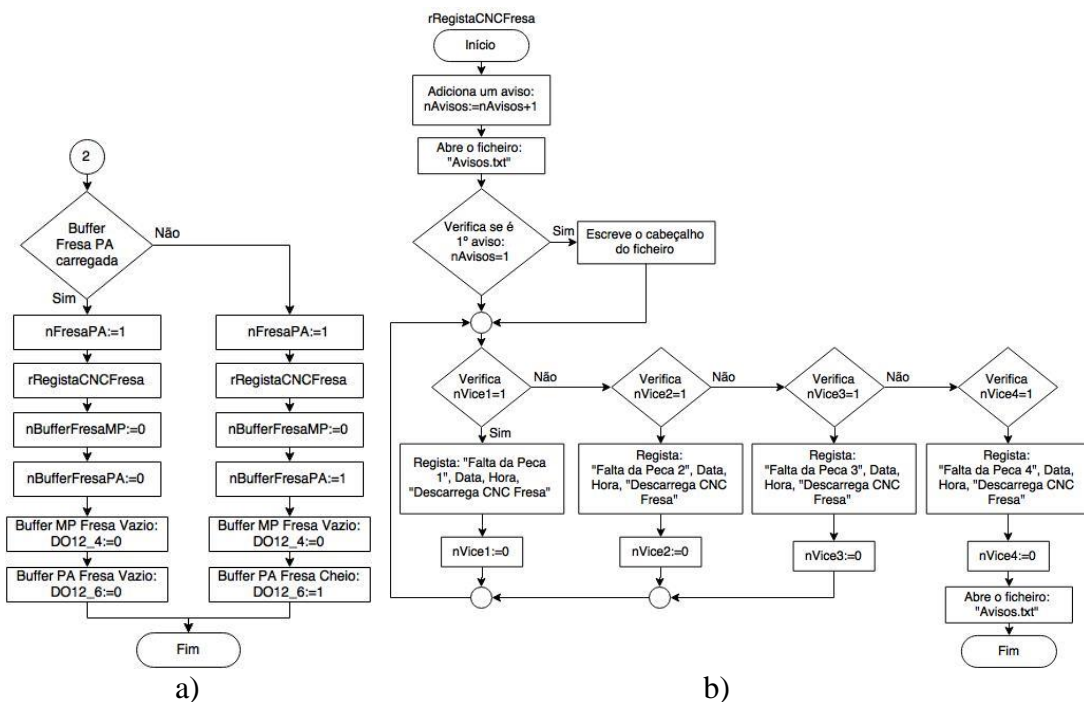


Figura 4-49: Fluxograma rotina “rDescarregaFresa”.

Na Figura 4-50 b) é apresentado o fluxograma da rotina “rRegistaCNCFresa”. Quando ocorre a queda de uma peça de trabalho no *vice* esta é imediatamente identificada através da variável “nVice1”, “nVice2”, “nVice3” ou “nVice4”, dependendo da posição que esta ocupava no *buffer* MP. A Figura 4-51 mostra um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.



a)

b)

Figura 4-50: Fluxograma da rotina de atualização do estado do *buffer* PA Fresa e sub-rotina “rRegistaCNCFresa”.

Avisos	Data	Hora	Tarefa
Falta Peça 1 no Vice	2015-07-03	10:24:29	Descarrega CNC Fresa
Falta da Peça 2	2015-07-03	10:37:36	Carga CNC Fresa
Falta da Peça 4	2015-07-03	10:37:36	Carga CNC Fresa
Falta da Peça 4	2015-07-07	15:26:35	Carga CNC Fresa
Falta da Peça 4	2015-07-07	15:35:53	Carga CNC Fresa
Falta Peça 4 no Vice	2015-07-07	15:56:24	Descarrega CNC Fresa

Figura 4-51: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

4.2.6 Carregamento de Paletes PA

Na Figura 4-52 é apresentado o fluxograma do processo de carregamento das paletes PA Torno. Este processo é ativado pelo Gestor da CFF a partir do bit DI12_11. Sempre que o robô não identificar uma peça esta é sinalizada pela variável nPecax. De seguida o robô carrega a peça seguinte.

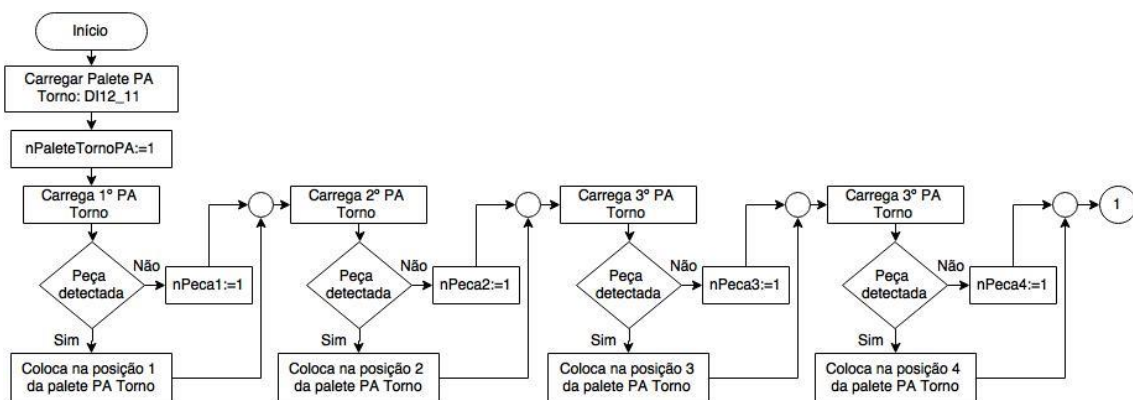


Figura 4-52: Fluxograma do processo de carregamento das paletes PA Torno.

Na Figura 4-53 é apresentado o fluxograma do processo de carregamento das paletes PA Fresa. No caso das paletes PA Fresa o processo de carregamento é ativado a partir do bit DI12_12 pelo Gestor da CFF.

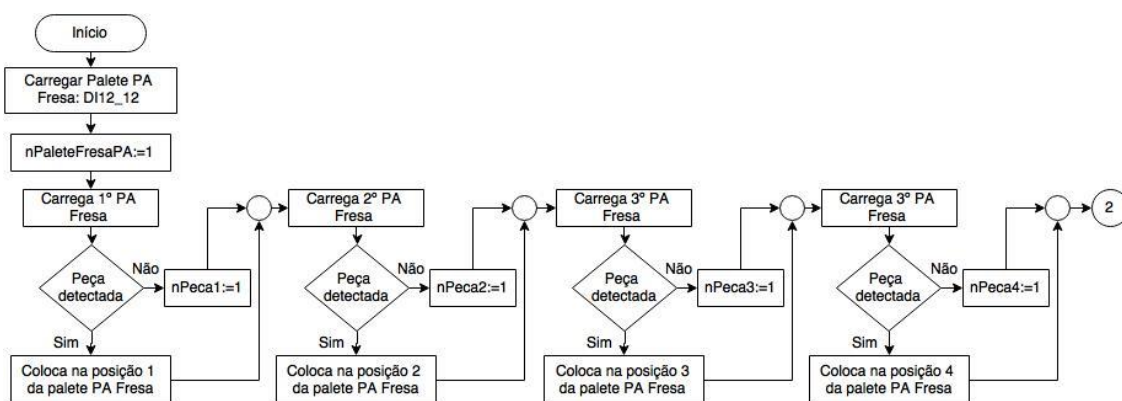


Figura 4-53: Fluxograma do processo de carregamento das paletes PA Fresa.

De seguida é efetuado o algoritmo de verificação do estado do *buffer* PA, como é apresentado na Figura 4-54. Caso se verifique que o *buffer* PA Torno está vazio, a paleta continua em

circulação. Quando são carregados apenas alguns dos produtos acabados a paleta PA Torno é sinalizada pelo Gestor da CFF como carregada. Nestas situações é executada a sub-rotina “rRegistaPecas” (Figura 4-39), responsável por registar no ficheiro “Avisos.txt” as peças em falta durante o carregamento da paleta PA Torno. Na Figura 4-54 a) é apresentado o fluxograma do algoritmo desenvolvido. A Figura 4-54 b) exhibe o mesmo algoritmo executado para as paletes PA Fresa.

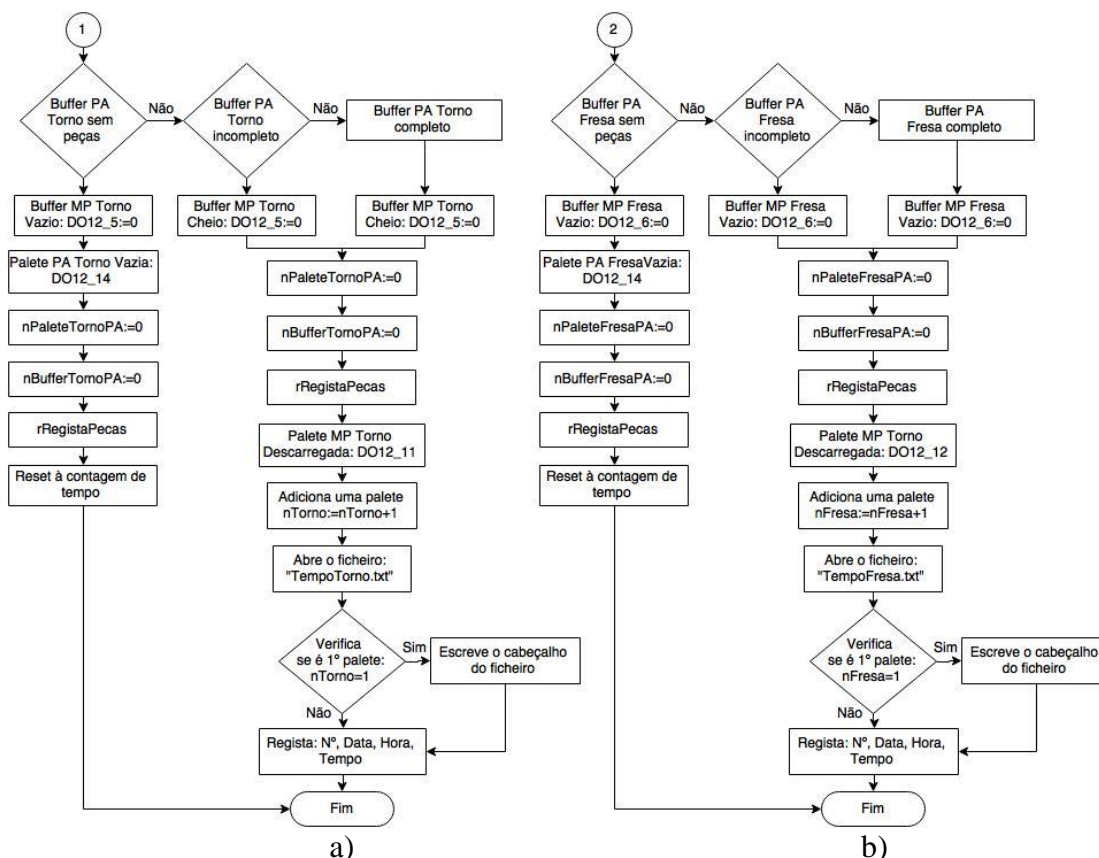


Figura 4-54: Fluxograma do processo de verificação das paletes MP Torno e Fresa.

A Figura 4-55 apresenta um exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

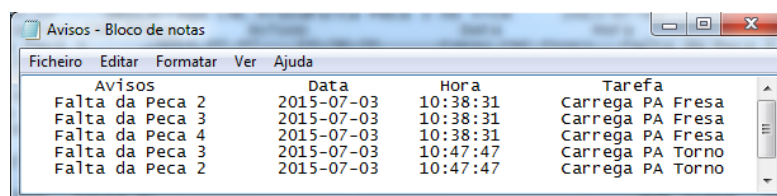


Figura 4-55: Exemplo do ficheiro “Avisos.txt”.

Nas Figuras 4-56 e 4-57 são apresentados, respetivamente, um exemplo dos ficheiros “TempoFresa.txt” e “TempoTorno.txt”. Nestes ficheiros são registados o tempo que cada paleta demorou desde o início do processo de maquinação até ser descarregada para o transportador.



Paleta Fresa	Data	Hora	Tempo de Ciclo(seg)
1	2015-07-10	14:55:15	146,764
2	2015-07-11	16:05:49	138,833
3	2015-07-11	16:12:21	314,132

Figura 4-56: Exemplo do ficheiro “TempoFresa.txt”.



Paleta Torno	Data	Hora	Tempo de Ciclo(seg)
1	2015-07-10	14:57:29	418,789
2	2015-07-11	16:14:64	420,572
3	2015-07-11	16:32:26	327,825

Figura 4-57: Exemplo do ficheiro “TempoTorno.txt”.

4.2.7 Sistema de emergência e segurança do setor de fabrico

O programa “ProgAlarme.prg” foi desenvolvido com objetivo de garantir a segurança do operador da CFF e de possíveis utilizadores da mesma. À semelhança do setor de armazém o controlador está a processar dois programas em simultâneo, sendo o programa “ProgFabrico.prg” o principal e o programa “ProgAlarme.prg” uma *multitask*.

Na Figura 4-58 a) é exibido o fluxograma do programa “ProgAlarme.prg”. Como se pode verificar, quando o programa é iniciado este aguarda por período de tempo de 200ms e de seguida verifica se algum dos sensores óticos está ativo, através dos bits DI12_6 e DI12_1. Na ocorrência de um alarme, significa que o volume de trabalho do robô foi invadido, pelo que é executada logo de seguida a instrução “StopMove”. Por conseguinte o alarme luminoso e sonoro da baliza de sinalização são ativados. No ecrã da consola é escrito o tipo de falha identificada, como é mostrado na Figura 4-59 a).

Para dar continuidade às tarefas que estavam a ser realizadas, o operador deve sair do setor e pressionar o botão “Marcha” da unidade de controlo. Antes de executar o comando “Marcha”, o operador deve verificar se existem equipamentos ou pessoas dentro da zona de operação do manipulador. Quando este botão é pressionado o alarme luminoso e sonoro são desativados, e a luz verde da baliza é novamente ativada, indicando o correto funcionamento do setor. Através da instrução “StartMove” o movimento do robô é retomado a partir do ponto onde ficou imobilizado.

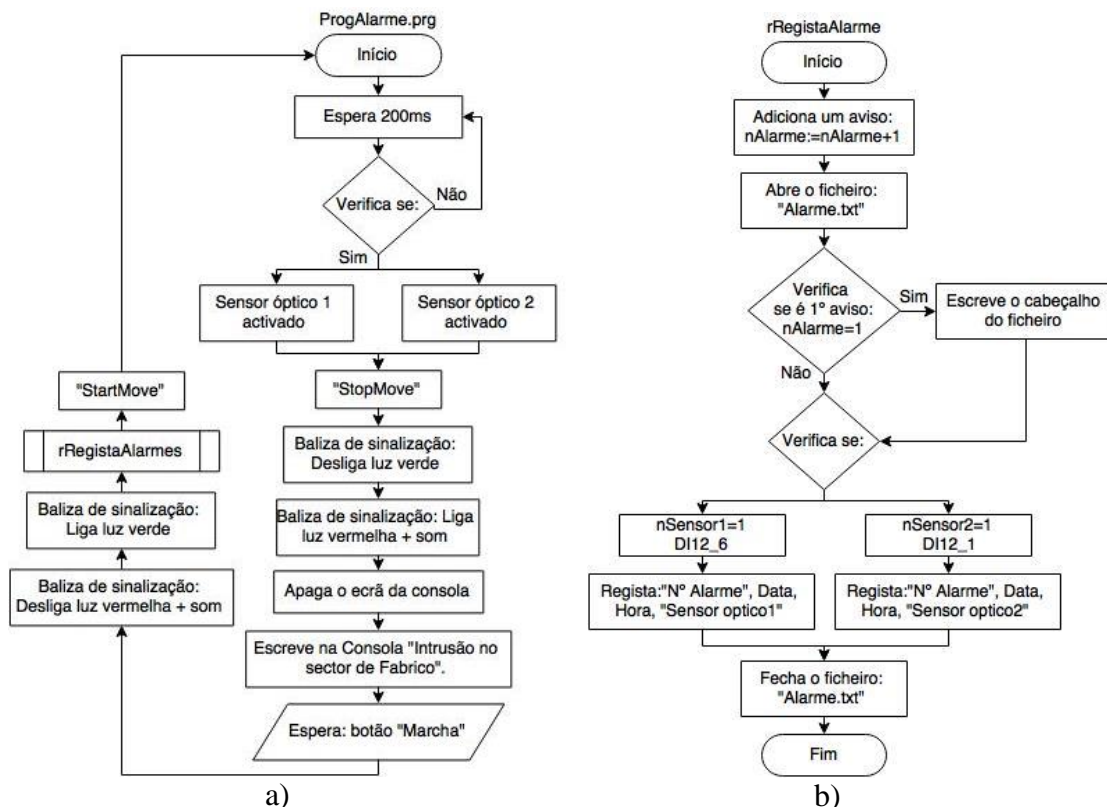


Figura 4-58: Fluxograma do programa “ProgAlarme.prg” e da sub-rotina “rRegistaAlarme”.

Por fim, através da sub-rotina “rRegistaAlarme”, o alarme ocorrido é registado no ficheiro “Alarme.txt”, como é ilustrado no fluxograma da Figura 4-58 b). Este ficheiro apresenta um histórico com todas as intrusões detetadas no setor de fabrico. A Figura 4-59 b) exhibe um exemplo do ficheiro “Alarmes.txt”.

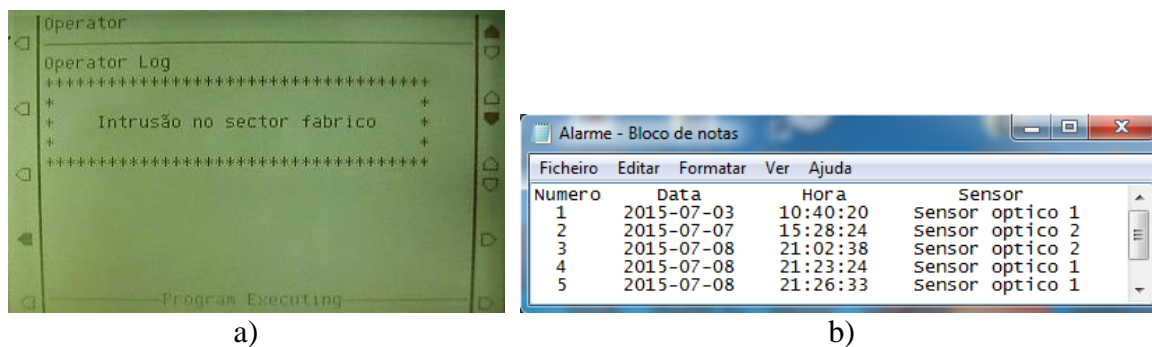


Figura 4-59: Exemplo do registo do aviso na Consola e no ficheiro “Alarmes.txt”.

4.3 Gestor da Célula Flexível de Fabrico

O Gestor da CFF (PLC) é responsável por designar as tarefas a serem executadas em cada setor. O PLC comunica diretamente com cada um dos setores, através de uma interface desenvolvida, são utilizados sinais digitais para comunicar com os controladores dos robôs e

com os equipamentos do transportador (sensores e atuadores - *stoppers*). O Gestor da CFF é o elemento *master* da célula que tem como objetivo integrar e coordenar as tarefas que são executadas pelos três setores. Isto significa que o PLC está permanentemente a receber informações sobre as tarefas efetuadas em cada setor. A informação recebida é processada, e por sua vez, são habilitadas ou desabilitadas tarefas a serem executadas noutros setores. A Figura 4-60 ilustra a estrutura de controlo da CFF.

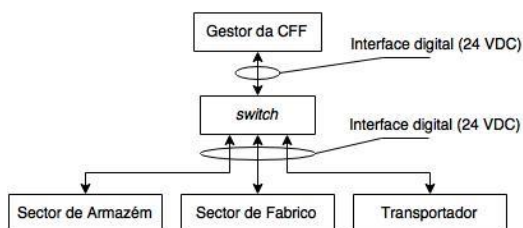


Figura 4-60: Estrutura de controlo da CFF.

No desenvolvimento de uma CFF é necessária a comunicação de todos os elementos de automação industrial com o Gestor da CFF, para coordenar as tarefas a executar por cada um destes. Nos Quadros 4-6 e 4-7 são apresentadas, respetivamente, as entradas e saídas que constituem a interface de comunicação do autómato com os equipamentos do transportador.

Quadro 4-6: Interface do PLC (Entradas) - Transportador.

Entradas: Transportador	
Localização (Bits)	Descrição
I0.0	Sensor indutivo 1 do setor de armazém
I0.1	Sensor indutivo 2 do setor de armazém
I0.1	Sensor indutivo 3 do setor de armazém
I0.3	Sensor indutivo 4 do setor de armazém
I8.6	Sensor indutivo 5 do setor de armazém
I0.4	Sensor indutivo 1 do setor de fabrico
I0.5	Sensor indutivo 2 do setor de fabrico
I0.6	Sensor indutivo 3 do setor de fabrico
I0.7	Sensor indutivo 4 do setor de fabrico
I8.4	Sensor indutivo 5 do setor de fabrico

Quadro 4-7: Interface do PLC (Saídas) - Transportador.

Saídas: Transportador	
Localização (Bits)	Descrição
Q0.0	<i>Stopper</i> setor de fabrico
Q0.1	<i>Stopper</i> setor de armazém
Q0.2	<i>Stopper</i> auxiliar do setor de fabrico
Q0.3	<i>Stopper</i> auxiliar do setor de armazém

4.3.1 Gestor da CFF e Setor de armazém

Relativamente ao setor de armazém, o Gestor da CFF tem como função designar as tarefas que são executadas neste setor, em função da informação disponibilizada pelo transportador e pelo setor de armazém. Outro fator determinante na designação de uma tarefa é o estado das paletes que transportam as matérias-primas e os produtos acabados por toda a CFF. O Gestor da CFF é responsável pelas seguintes tarefas no setor de armazém: carregar a paleta MP Torno; carregar a paleta MP Fresa; descarregar a paleta PA Torno e descarregar a paleta PA Fresa. Estas são as tarefas principais e inerentes ao processo. O Gestor da CFF ainda pode instruir o setor de armazém para efetuar tarefas auxiliares, nomeadamente, ativar o controlo das paletes MP Torno ou Fresa.

Na Figura 4-61 é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF que ativa o carregamento das paletes MP Torno e o descarregamento de paletes PA Torno. Para ativar qualquer uma destas tarefas é necessário que não se verifique a instrução de paragem do setor de armazém. Esta instrução permite a paragem do setor quando se pretende efetuar operações de manutenção.

O carregamento de uma paleta MP Torno só é ativado pelo Gestor da CFF (PLC) quando é detetada uma paleta MP Torno vazia e o respetivo armazém possuir a matéria-prima solicitada. De seguida, se não se verificar a ordem de paragem da produção fresa, o PLC ordena a ativação do *stopper* do setor e do seu auxiliar, e por sua vez, ativa o bit Q0.4, responsável por ordenar o carregamento da paleta MP Torno. O *stopper* auxiliar tem como função evitar a formação de filas quando uma paleta se encontra parada no setor de armazém. Quando é detetada uma paleta PA Torno e esta se encontrar carregada, os *stoppers* são novamente ativados interrompendo o curso da paleta no setor de armazém. De seguida é dada a instrução de descarregamento da paleta, através do bit de saída Q9.0.

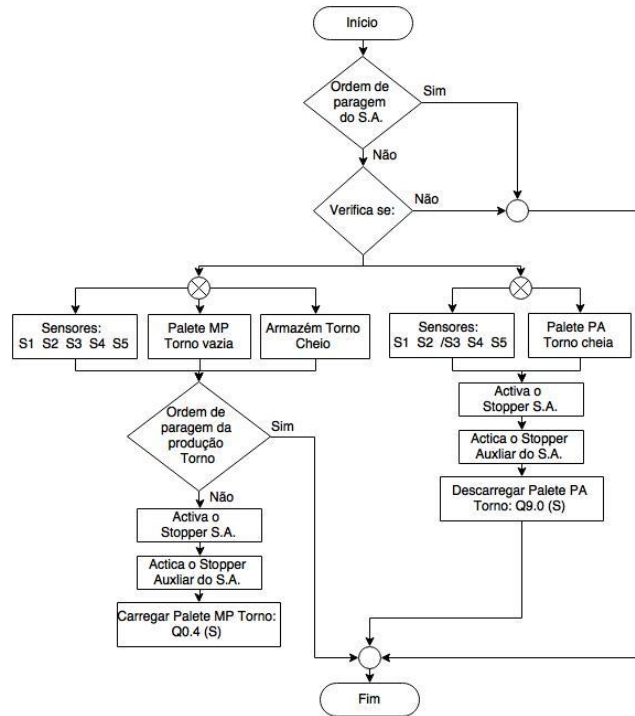


Figura 4-61: Fluxograma das tarefas do setor de armazém para as paletes Torno.

Na Figura 4-62 é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF que ativa o carregamento das paletes MP Fresa e o descarregamento de paletes PA Fresa. Como se pode verificar a combinação dos sensores indutivos são diferentes para as paletes MP Fresa e PA Fresa. Os bits Q0.5 e Q9.1 ativam respetivamente o carregamento da paleta MP Fresa e o descarregamento da paleta PA Fresa.

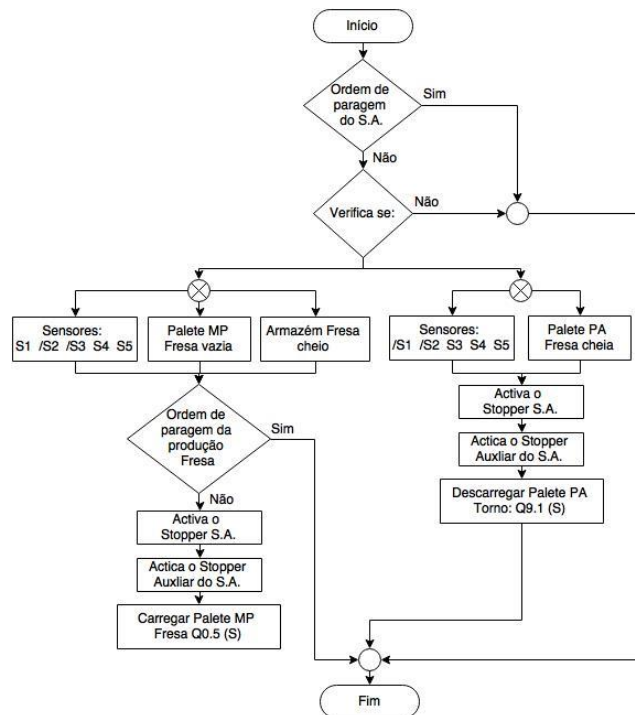


Figura 4-62: Fluxograma das tarefas do setor de armazém para as paletes Fresa.

Quando é dada uma ordem de paragem da produção Torno ou Fresa, as paletes MP são desativadas das suas funções, pois pretende-se interromper o fornecimento de matérias-primas e assim terminar o processo de produção. Por outro lado as paletes PA continuam em função com o objetivo de desimpedir e retirar os produtos acabados que ainda se podem encontrar no setor de fabrico ou nas paletes do transportador.

Quando o setor de armazém termina a execução de uma determinada tarefa este é responsável por comunicar ao Gestor da CFF. Como referido anteriormente o setor de armazém, para além de efetuar as tarefas relativas ao processo, também é responsável por supervisionar as paletes quando há a possibilidade de possuírem peças caídas. Em função das tarefas realizadas são ativadas diferentes entradas no Gestor da CFF. Na Figura 4-63 a) é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF quando é efetuado um carregamento da paleta MP Torno. Quando é ativado o bit de entrada I1.0 significa que foi efetuado o carregamento da paleta MP Torno. De seguida o Gestor da CFF coloca esta paleta em circulação e ativa o bit M2.0, que identifica o estado da paleta. Quando uma paleta é carregada significa que não possui peças caídas, e por isso é sempre desativado, por defeito, o controlo da paleta MP. Quando é ativado o bit I9.3 significa que a paleta MP Torno possui peças caídas. Neste sentido o estado da paleta mantém-se inalterado (vazio) inibindo a sua paragem no setor Fabrico. Por sua vez o bit que ativa o controlo da paleta MP mantém-se ativado. Na Figura 4-63 b) é exibido o fluxograma para o carregamento de paleta MP Fresa, apresentando a mesma estrutura do anterior.

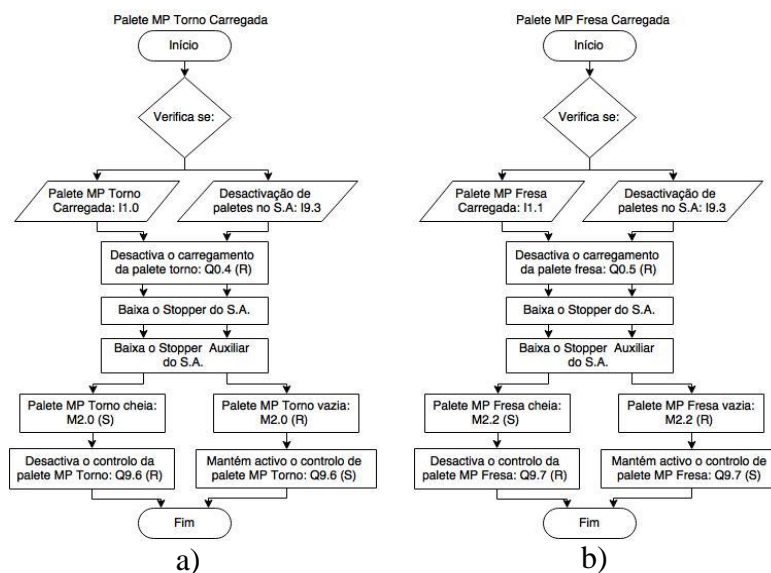


Figura 4-63: Fluxograma das paletes MP carregadas.

Na Figura 4-64 a) é ilustrado o fluxograma do Gestor do CFF quando são concluídas as tarefas de descarregamento de paletes PA Torno. Quando é descarregada uma paleta PA o *stopper* do setor é desativado permitindo a circulação da paleta. Por sua vez, esta é sinalizada como vazia, apresentando as condições para ser carregada novamente. Desta forma, o bit M9.6 é desativado, por defeito, dado que não foram registadas peças caídas. Se a paleta for Desativada a paleta mantém-se cheia e o bit de sinalização de peças caídas mantém-se inalterado. Como a paleta está cheia o Gestor da CFF apenas interrompe o seu curso no setor de armazém para efetuar novamente o mecanismo de supervisão de peças caídas. Por isso esta paleta nunca pára no setor de fabrico. O bit M9.6 não é utilizado na designação de tarefas, apenas é um bit de sinalização. Na Figura 4-64 b) é ilustrado o fluxograma do Gestor do CFF quando são concluídas as tarefas de descarregamento de paletes PA Fresa.

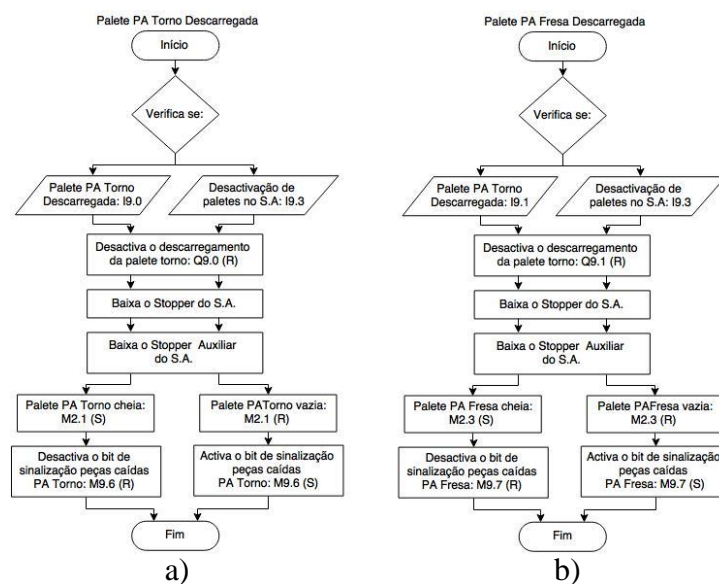


Figura 4-64: Fluxograma das paletes PA descarregadas.

Durante a tarefa de descarregamento de paletes PA, o bit I9.2 é ativado sempre que é detetado e descarregado um produtos acabado. Isto significa que quando são descarregados quatro produtos acabados é cativado quatro vezes o bit I9.2. Dependendo da tarefa que esteja a ser executada, o Gestor da CFF reconhece se é um produto torno ou fresa. De seguida é incrementada na respetiva variável um produto acabado.

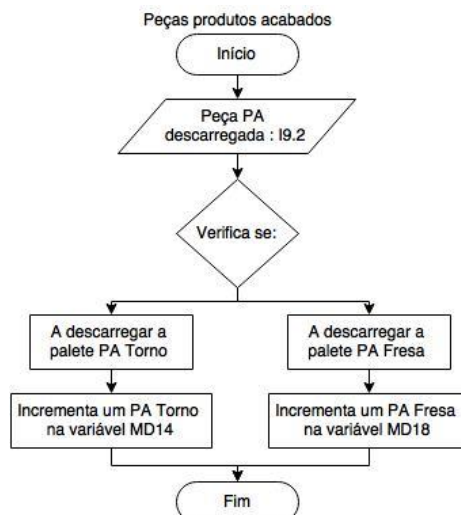


Figura 4-65: Fluxograma de deteção dos produtos acabados descarregados.

4.3.2 Unidade de controlo do SA

Como referido anteriormente a unidade de controlo local do setor de armazém permite efetuar diferentes ações de controlo “Marcha”, “Paragem” e “Prosseguir”. No autómato foi desenvolvido um algoritmo com o objetivo de replicar essas funções através da página da CFF, como se apresenta na Figura 4-66. Neste sentido, pretende-se a partir das variáveis de memória M5.2, M5.3 e M5.4 comandar remotamente, através do PLC, a unidade de controlo do setor de armazém.

Quando é efetuado a “Paragem” ao setor de armazém, a variável “Paletes_Armazem” é colocada no estado lógico “0” e por sua vez é ativada a “Ordem de paragem do S.A.”, como se verifica no fluxograma da Figura 4-61 do tópico 4.3.1. Isto significa que não recebidas paletes matérias-primas ou produtos acabados. O comando “Marcha” desativa a ordem de paragem do setor.



Figura 4-66: Fluxograma da unidade de controlo do setor de armazém.

Quando os bits de saídas Q9.3, Q9.2 e Q8.1 colocadas no estado lógico “1” estes ativam, respetivamente as rotinas *trap* “rTrap_Stop”, “rTrap_Start” e “rTrap_Arm” do setor de armazém, apresentadas respetivamente nos tópicos 4.1.1 e 4.1.4.

4.3.3 Gestor da CFF e Setor de fabrico

O Gestor da CFF também tem a função de designar as tarefas que são executadas no setor de fabrico. O Gestor da CFF é responsável por designar as seguintes tarefas no setor de fabrico: descarregar a paleta MP Torno; descarregar a paleta MP Fresa; carregar a paleta PA Torno e carregar a paleta PA Fresa. Estas são as tarefas principais e inerentes ao processo.

Na Figura 4-67 é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF que ativa o descarregamento das paletes MP Torno e o carregamento de paletes PA Torno. Caso se verifique a instrução de paragem do setor de fabrico, nenhuma das tarefas mencionadas serão efetuadas. À semelhança do setor de armazém esta instrução é usada quando se pretende efetuar operações de manutenção.

O descarregamento de uma paleta MP torno é ativado sempre que seja detetada a respetiva paleta com matérias-primas e o *buffer*, onde são colocadas as peças no setor de fabrico, se encontre disponível. De seguida, se não se verificar a ordem de paragem da produção fresa, o *stopper* do setor e o seu auxiliar são ativados permitindo a paragem da paleta. Por sua vez, é dada a instrução de descarregamento da paleta através do bit Q0.6. Quando é detetada uma paleta PA Torno vazia, e o respetivo *buffer* possuir produtos acabados é instruído o carregamento da paleta PA Torno, através do bit Q1.0.

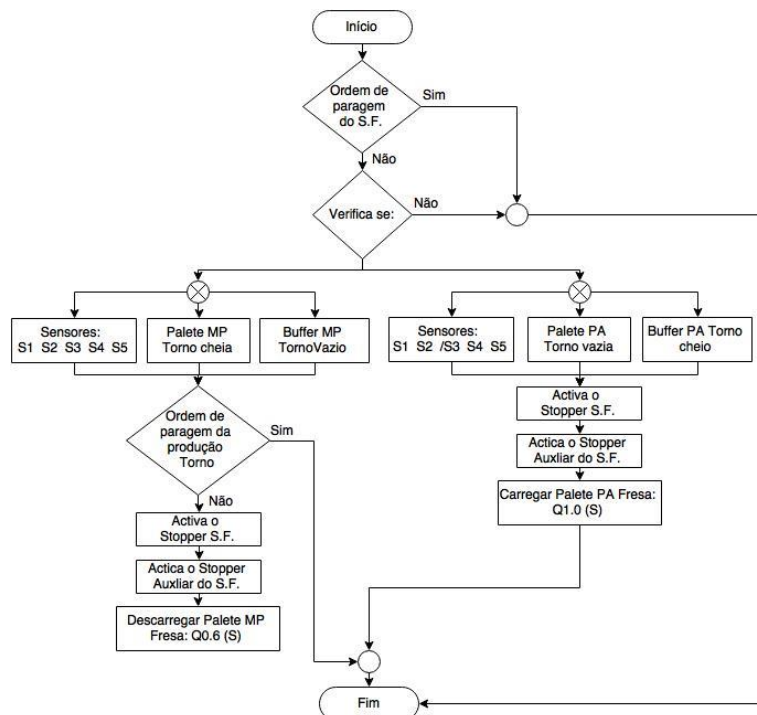


Figura 4-67: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes Torno.

Na Figura 4-68 é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF que ativa o descarregamento das paletes MP Fresa e o carregamento de paletes PA Fresa.

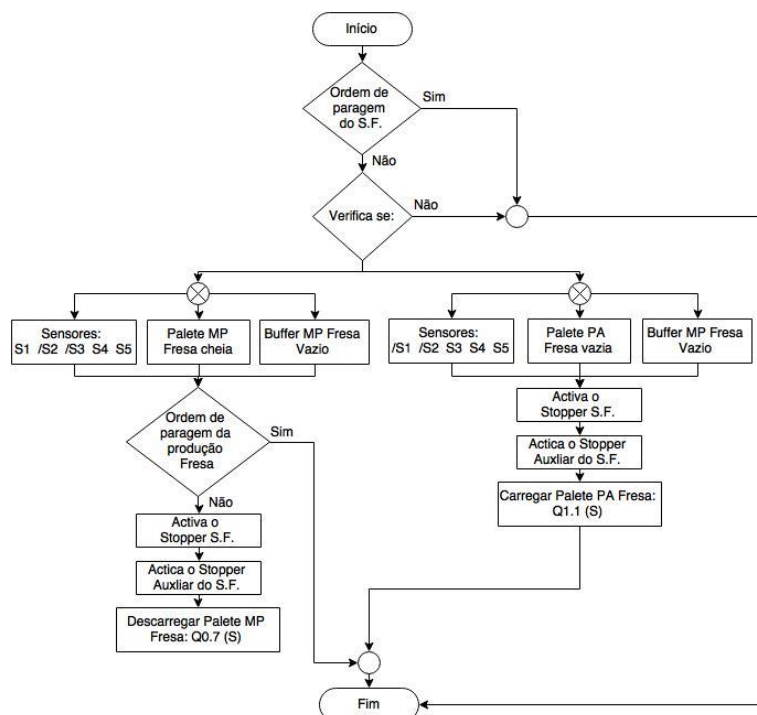


Figura 4-68: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes Fresa.

Quando o setor de fabrico termina a execução de uma determinada tarefa este também é responsável por comunicar ao Gestor da CFF. Na Figura 4-69 a) é apresentado o fluxograma

do Gestor da CFF quando é efetuado um descarregamento da paleta MP Torno. Quando é ativado o bit de entrada I1.2 o descarregamento da paleta MP Torno está concluído. Por sua vez o Gestor da CFF coloca a paleta em circulação e desativa o bit M2.0. Simultaneamente o bit I9.4 pode ser ativado, como é apresentado na Figura 4-69 b). Este bit informa o Gestor da CFF da falta de peças na paleta MP Torno. Na ocorrência desta instrução o Gestor da CFF é responsável por ativar o controlo da paleta MP Torno que será executada no setor de armazém. Na Figura 4-69 c) é apresentado o fluxograma quando é efetuada a tarefa de descarregamento de uma paleta MP Fresa. Na Figura 4-69 d) é ilustrado o fluxograma de ativação do controlo da paleta MP Fresa.

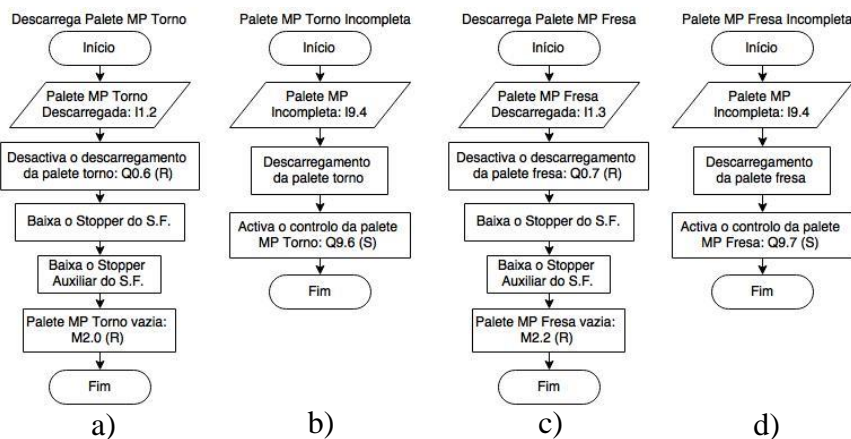


Figura 4-69: Fluxograma da paletes MP descarregadas e/ou incompletas.

Quando é concluído o carregamento de uma paleta PA Torno o bit I1.4 é ativado, como é ilustrado na Figura 4-70 a). De seguida, o Gestor da CFF, é responsável por desativar os *stoppers* e sinalizar a paleta como carregada. Na Figura 4-70 b) é exibido o fluxograma para o carregamento de paleta PA Fresa, apresentado a mesma estrutura do anterior.

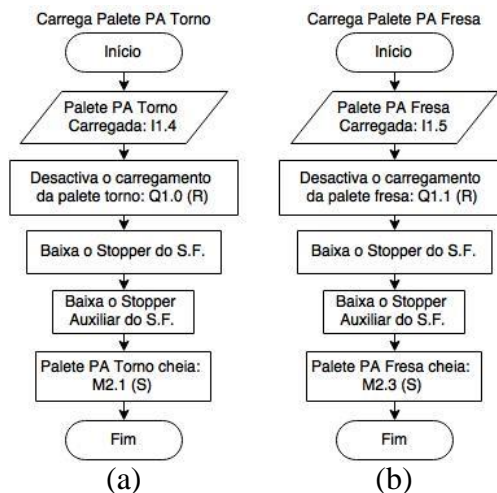


Figura 4-70: Fluxograma das paletes PA carregadas.

4.3.4 Unidade de controlo do SF

Como referido anteriormente a unidade de controlo local do setor de fabrico permite efetuar diferentes ações de controlo “Marcha”, “Paragem” e “Manutenção”. No autómato foi desenvolvido um algoritmo com o objetivo de replicar essas funções, como se apresenta na Figura 4-71. Neste sentido pretende-se a partir das variáveis de memória M5.5, M5.6 e M5.7 comandar remotamente, através do PLC, a unidade de controlo do setor de fabrico. Quando é instruída a paragem do setor de fabrico a variável “Paletes_Fabrico” é colocada no estado lógico “0” e por conseguinte é ativada a “Ordem de paragem do S.F.”, como se verifica na Figura 4-67 do tópico 4.3.3. Nesta situação não são recebidas nem as paletes matérias-primas nem as paletes produtos acabados.

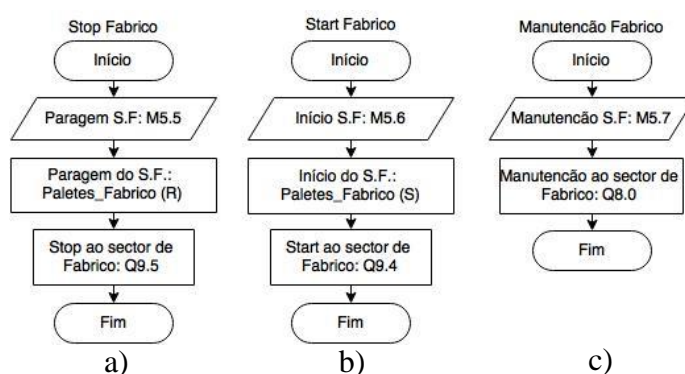


Figura 4-71: Fluxograma da unidade de controlo do setor de fabrico.

Quando os bits de saídas Q9.5, Q9.6 e Q8.0 colocadas no estado lógico “1” estes ativam, respetivamente as rotinas *trap* “rTrap_Stop”, “rTrap_Start” e “rTrap_Manutencao” no setor de fabrico, apresentadas nos tópicos 4.2.1 (Figura 4-29) e 4.2.2 (Figura 4-32 c).

4.3.5 Start/Stop da produção da fresa e torno

Para o operador controlar a produção foi necessário desenvolver um algoritmo que permitisse remotamente, através do PLC, iniciar ou interromper os processos de produção associados aos produtos fresa e/ou torno. As variáveis de memória M4.0 e M4.1 quando ativadas são responsáveis por interromper a produção do torno e da fresa, respetivamente, através das variáveis “Paletes_Torno” e “Paletes_Fresa”. Os bits M4.2 e M4.3 quando ativadas colocam no estado lógico “1” as variáveis “Paletes_Torno” e “Paletes_Fresa” permitindo habilitar novamente a produção. A Figura 4-72 apresenta os algoritmos desenvolvidos.

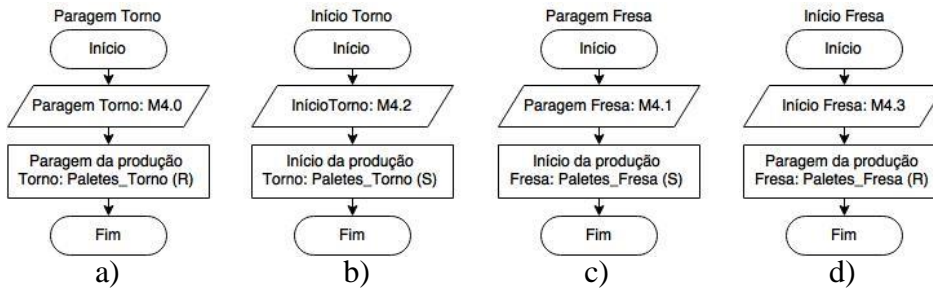


Figura 4-72: Fluxograma da paragem de produção torno e fresa.

4.3.6 Start/Stop à CFF

Através do autómato, a CFF pode ser interrompida ou iniciada remotamente. Na Figura 4-73 é apresentado o fluxograma de paragem da CFF. Esta funcionalidade permite ao operador terminar o processo de produção atual e iniciar um novo ciclo. As variáveis “Paletes_Torno” e “Paletes_Fresa” são colocadas no estado lógico “0” e tem a função de inibir o carregamento de paletes MP no setor de armazém e o seu descarregamento no setor de fabrico. Os bits Q9.3 e Q9.5 são responsáveis por ativar as rotinas “rTrap_Stop” de cada setor.

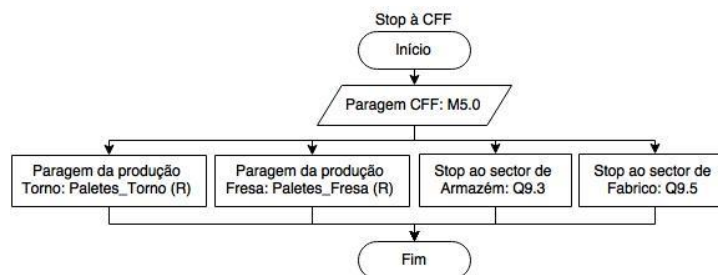


Figura 4-73: Fluxograma de paragem da CFF.

A Figura 4-74 apresenta o fluxograma de início da CFF que permite retomar os processos da CFF. As paletes MP são novamente habilitadas e os bits Q9.2 e Q9.5 ativam as rotinas “rTrap_Start” dos dois setores.

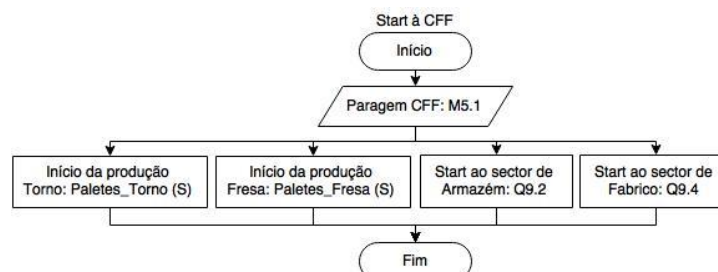


Figura 4-74: Fluxograma de início da CFF.

4.4 Servidor *web*

O servidor *web* suporta uma página Internet onde o operador da célula pode controlar e monitorizar remotamente a CFF. No desenvolvimento da página procurou-se incorporar todas as funções das consolas *Teachpendant* dos robôs, das unidades de controlo e do sistema de sinalização local. A página *web* é a HMI principal da CFF.

O operador através da página da CFF pode consultar os dados de produção, o desempenho das tarefas realizadas nos setores de Fabrico e Armazém, como também analisar as possíveis falhas e avisos ocorridos em cada setor. Para além disso, o operador pode ainda efetuar ações de controlo.

Na ocorrência de uma falha ou de um aviso o operador deve identificar e corrigir a situação anómala, no menor tempo possível, para não afetar a produtividade da célula. Para tornar este processo flexível são enviadas mensagens de texto, com a identificação das falhas ocorridas. Assim, o operador não tem de estar a supervisionar permanentemente a página da CFF. Esta função também é suportada pelo servidor *web*.

A página *web*, sendo considerada a HMI da CFF, foi desenvolvida com o objetivo de ser o mais intuitiva possível para que o operador possa facilmente identificar possíveis anomalias do processo e, dessa forma, decidir a operação de controlo mais adequada.

A implementação de uma HMI que permite a supervisão da CFF remotamente, apresenta uma grande vantagem, dado que o operador não necessita de estar em permanência junto à CFF. O operador poderá rentabilizar o tempo ganho na realização de outras tarefas, por exemplo, no projeto de novos produtos que sejam solicitados para produzir. Isto envolve a reprogramação das máquinas CNC e eventualmente dos robôs industriais.

4.4.1 Interface do servidor *web*

O Gestor da CFF para além de controlar e monitorizar a CFF, também desempenha uma tarefa importante, na transmissão e recepção de dados para o servidor *web*. Este é o elemento responsável por estabelecer a comunicação entre a CFF e a página *web* que é disponibilizada ao operador da CFF. No Quadro 4-8 é apresentada a interface estabelecida entre o PLC e o servidor *web*. Os bits de memória Mx.x são utilizados para instruir operações de controlo a partir da página *web* para o Gestor da CFF. As *double words* MD14 e MD18 são as variáveis que fornecem ao servidor *web* o número de produtos acabados Torno e Fresa, respetivamente. Os bits de entrada I8.x informam o estado dos armazéns e dos *buffers* ao servidor *web* e os bits Qx.x informam as tarefas que estão a ser executadas.

Quadro 4-8: Interface de comunicação PLC e servidor *web*.

Gestor da CFF – Servidor <i>web</i>			
Localização	Descrição	Localização	Descrição
M4.0	Paragem produção Torno	I8.0	Buffer MP Torno Carregado
M4.2	Início produção Torno	I8.1	Buffer MP Fresa Carregado
M4.1	Paragem produção Fresa	I8.2	Buffer PA Torno Carregado
M4.3	Início produção Fresa	I8.3	Buffer PA Fresa Carregado
M5.0	Stop à CFF	I8.5	Armazém Torno Vazio
M5.1	Start à CFF	I8.7	Armazém Fresa Vazio
M5.2	Stop ao setor de armazém	Q0.4	Carregar Palete MP Torno
M5.3	Start ao setor de armazém	Q0.5	Carregar Palete MP Fresa
M5.4	Prosseguir setor de armazém	Q0.6	Carregar Palete PA Torno
M5.5	Stop setor de fabrico	Q0.7	Carregar Palete PA Torno
M5.6	Start setor de fabrico	Q1.0	Carregar Palete PA Torno
M5.7	Manutenção setor de fabrico	Q1.1	Carregar Palete PA Fresa
MD14	Produtos acabados Torno	Q9.0	Descarregar Palete PA Torno
MD18	Produtos acabados Fresa	Q9.1	Descarregar Palete PA Fresa
		Q9.6	Controlo Palete MP Torno
		Q9.7	Controlo Palete MP Fresa

Para estabelecer a comunicação entre o *raspberry* e o PLC foi desenvolvido um *script* em *python* que lê e armazena o estado lógico dos bits Mx.x, Ix.x e Qx.x como também os valores numéricos das *double words* MD14 e MD18. Este *script* faz uso da biblioteca “snap7” para a comunicação com o modbus do PLC S7-1200 [35]. A latência de leitura é de 300ms.

O *raspberry* também comunica com os controladores dos robôs, para aceder aos ficheiros “Alarme.txt”, “Avisos.txt”, “TempoFresa.txt”, “TempoTorno.txt”, “TempoDeCicloTorno.txt” e “TempoDeCicloFresa.txt”, que serão apresentados na página da CFF. A leitura dos dados por *ftp* é feita com recurso ao comando nativo de Linux “wget” pelo seu pouco tempo de latência na transferência.

Quando a página da CFF é requerida, um SVG (*scalable vector graphics*) desenhado em *Inkscape*, é carregado numa *tag embed* no referido HTML. O HTML faz uso de um conjunto de funções em *javascript* que vão ler os valores escritos em *python* e *ftp*

O sistema operativo do *raspberry* é o Debian 8.0 (Linux) com a versão *python* 2.7. O *raspberry* possui um servidor *web* *lighttpd* que permite a transmissão de dados entre o Gestor da CFF e a página *web*. Para o operador poder conectar-se foi instalado um Access Point, *daemon hostapd*, que tem a função de debitar um sinal *wireless*, emitir um SSID (*service set identification*) e realizar a autenticação. Para controlar o *hardware* da antena foi instalado o *firmware Atheros*. Também foi instalado o servidor *isc dhcp-server*, responsável por atribuir um endereço IP quando ocorre uma conexão via *wireless*.

Para aceder à página da CFF, o operador deve conectar-se à rede *wireless* com o SSID “SFF_AP” e introduzir a respetiva palavra-passe. Depois da autenticação, o operador tem de introduzir no browser o endereço IP 192.168.10.1. Caso o operador se pretenda conectar diretamente na rede LAN, através de uma ligação *Ethernet* ao *switch*, deve ser introduzido o endereço de IP 192.168.1.101. De seguida é apresentada e explicada a página desenvolvida para a CFF.

4.4.2 Menu principal

O menu principal da página de célula encontra-se representado na Figura 4-75. Como é possível verificar este disponibiliza um menu com quatro opções, que permitem o acesso a diferentes ferramentas de controlo e monitorização da CFF.



Figura 4-75: Menu principal da página *web* da CFF.

Do menu principal da página *web* da CFF fazem parte:

- Menu “2D”: apresenta-se o layout da CFF onde o operador monitoriza em tempo real as tarefas e falhas ocorridas nas paletes, *buffers* e armazéns;
- Menu “Armazém”: apresenta um histórico de produção, de alarmes e de avisos referentes ao setor de armazém;
- Menu “Fabrico”: apresenta um histórico da produção, de alarmes e de avisos referentes ao setor de fabrico;
- Menu “Controlo”: apresenta-se como a unidade de controlo da CFF onde o operador também pode verificar o número de peças produzidas.

4.4.3 Menu “2D”

Na Figura 4-76 é apresentado o *layout* da página “2D”, onde está representada a CFF. A página “2D” é a página apresentada em primeiro plano. Esta página foi desenvolvida com objetivo de apresentar ao operador uma reprodução da CFF o mais fiel possível. Neste sentido pretende-se que o operador possa facilmente reconhecer e compreender as tarefas que estão a ser executadas no momento por cada um dos setores. Ainda se procurou desenvolver uma *interface* de comunicação intuitiva que permitisse ao operador detetar facilmente as falhas ocorridas, e assim, efetuar uma intervenção rápida, minimizando os custos de produção.

Cada setor possui uma caixa de texto onde são escritas, em tempo real, as tarefas que estão a ser executadas. No setor de armazém existem quatro mensagens possíveis: “Carregar MP Torno”, “Carregar MP Fresa”, “Descarregar PA Torno” e “Descarregar PA Fresa”. No setor

de fabrico podem aparecer escritas as seguintes mensagens: “Descarregar MP Torno”, “Descarregar MP Fresa”, “Carregar PA Torno” e “Carregar PA Fresa”. Quando os setores não estão a realizar tarefas aparece escrita a mensagem “Parado”, como é possível verificar. É de referir que as mensagens apresentadas apenas retratam as tarefas instruídas pelo Gestor da CFF.

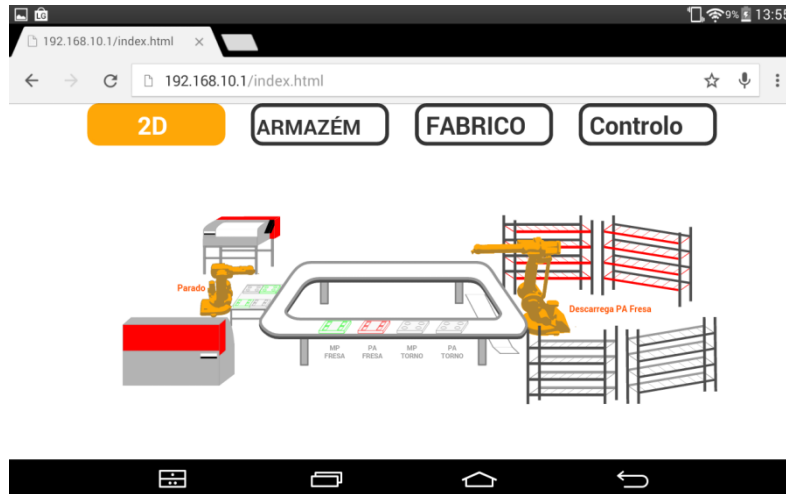


Figura 4-76: Exemplo do Menu “2D”.

Ainda nesta página são sinalizados o estado das paletes, dos armazéns e dos *buffers*. No caso das paletes estas podem apresentar diversos estados. Isto significa que a paleta pode estar vazia, cheia ou com peças caídas. Para cada estado correspondem as seguintes cores:

- Cinza: paletes descarregadas (vazias).
- Verde: paletes carregadas (cheias).
- Vermelho: paletes desativadas (com peças caídas)

Quando faltam peças matérias-primas a produtividade da célula é afetada, pelo que os armazéns, sempre que possível, devem ser recarregados. No entanto, caso isso não aconteça e algum armazém ficar sem matéria-prima, esta falha é sinalizada. Para cada estado do armazém correspondem as seguintes cores:

- Cinza: Armazém com peças matéria-prima.
- Vermelho: Armazém sem peças matéria-prima.

No setor de fabrico o estado de cada *buffer* é sinalizado de acordo com as seguintes cores:

- Verde: *buffer* carregado (cheio).
- Vermelho: *buffer* descarregado (vazio).

4.4.4 Menu “ARMAZÉM”

No menu “Armazém” são apresentados todas as informações relativas ao setor de armazém, como mostra a Figura 4-77 e 4-78. Todas as informações apresentadas neste menu, foram

obtidas a partir do controlador do setor de armazém. Nesta página, nos submenús “MP Torno” e “MP Fresa” são apresentados os registos de tempo dos carregamentos das paletes MP Torno e das paletes MP Fresa, respetivamente. O operador poderá consultar remotamente o número de paletes carregadas e o respetivo tempo que levou a tarefa a ser executada. Como é possível observar, sempre que aparecer o cabeçalho significa que foi começado um novo ciclo de produção.



Figura 4-77: Exemplo do Sub-menu “MP Fresa” do setor de armazém



Figura 4-78: Exemplo do Sub-menu “MP Torno” do setor de armazém.

No submenú “Avisos”, como é exibido na Figura 4-79, o operador tem acesso a todos os eventos e falhas que ocorreram no setor de armazém. Nesta página são apresentados vários tipos de eventos, contudo a intervenção do operado no setor de armazém apenas será necessária perante a ocorrência de alguns avisos específicos. Nesta situação o operador deve estar instruído do funcionamento da célula e saber determinar qual dos avisos registados que não afeta a produtividade da CFF. Quando são registados avisos do género “Falta da Peca 1 2015-07-07 15:30:06 Carrega MP Fresa” significa que a peça 1 da paleta MP Fresa pode estar caída na paleta. Contudo este não necessita da intervenção do operador dado que pode

não constituir a origem de uma falha. As restantes mensagens já implicam o supervisionamento do operador e por sua vez a deslocação à CFF.



Figura 4-79: Exemplo do Sub-menu “Avisos” do setor de armazém.

No submenu “Alarmes”, Figura 4-80, é apresentado o histórico de intrusões detetadas no setor de armazém. Sempre que o operador da CFF detetar um alarme este não deve efetuar qualquer operação de controlo remoto sem antes verificar se existe a presença de pessoas dentro deste. Quando uma intrusão é corrigida pela ativação do botão “Marcha” esta também é registada no submenu “Avisos” por “Produção Iniciada”.



Figura 4-80: Exemplo do Sub-menu “Alarmes” do setor de armazém.

4.4.5 Menu “FABRICO”

No menu “Fabrico”, à semelhança do anterior também são apresentados todos os dados relativos ao setor de fabrico, como mostra a Figura 4-81 e 4-82. Todos os históricos apresentados relativos à produção, avisos e alarmes são obtidos do controlador do robô do

4 - Proposta de solução

setor de fabrico. Nos submenus “PA Torno” e “PA Fresa” são registadas o número de paletes processadas.

Paletes Fresa	Data	Hora	Tempo de Ciclo(seg)
5	2015-07-30	17:51:27	496.325
4	2015-07-30	18:00:23	466.415
1	2015-07-30	20:44:22	287.244
2	2015-07-30	20:52:29	373.342
3	2015-07-30	20:59:28	378.551
1	2015-07-30	22:04:15	110.054
1	2015-07-30	22:39:32	1382.8
1	2015-07-31	11:03:46	239.403
2	2015-07-31	11:10:10	297.264
3	2015-07-31	11:16:37	306.987
4	2015-07-31	11:36:03	1126.01
1	2015-07-31	11:50:36	378.786
1	2015-07-31	12:04:27	302.248
2	2015-07-31	12:07:24	90.615
2	2015-09-18	11:36:24	324.437
4	2015-09-18	11:47:56	408.764

Figura 4-81: Exemplo do Sub-menu “PA Fresa” do setor de fabrico.

Paletes Torno	Data	Hora	Tempo de Ciclo(seg)
1	2015-07-10	16:32:29	0
1	2015-07-11	16:14:50	420.372
1	2015-07-30	23:05:34	407.269
1	2015-07-31	10:05:25	469.167
2	2015-07-31	10:13:20	299.231
1	2015-08-22	15:10:34	269.225
2	2015-08-22	15:15:31	212.804
3	2015-08-22	15:20:46	263.532
4	2015-08-22	15:27:40	184.771
5	2015-08-22	15:39:42	346.7
7	2015-08-22	15:44:03	227.018
8	2015-08-22	15:50:27	327.794
9	2015-08-22	15:54:07	198.737
11	2015-08-22	15:58:15	212.292
12	2015-08-22	16:01:50	193.866
13	2015-08-22	16:08:48	396.861
14	2015-08-27	16:21:27	266.789

Figura 4-82: Exemplo do Sub-menu “PA Torno” do setor de fabrico.

No submenu “Avisos”, Figura 4-83, o operador pode verificar todos eventos e falhas ocorridos no setor de fabrico. Como é possível verificar nesta página são apresentadas inúmeras falhas distintas que ocorreram neste setor. Um exemplo, são os avisos do género “Falta da Peca 4 2015-07-07 16:01:52 Carga CNC Fresa” ou “Falta Peca 1 no Vice 2015-07-07 16:01:52 Descarrega CNC Fresa”, entre outros. As restantes mensagens já implicam o supervisionamento do operador e por sua vez a sua deslocação à CFF.



Figura 4-83: Exemplo do Sub-menu “Avisos” do setor de fabrico.

No submenu “Alarmes”, como mostra a Figura 4-84, é apresentado o histórico de intrusões detetadas no setor de fabrico. Quando for detetada uma intrusão que o operador desconheça este não deve efetuar qualquer comando de controlo sem antes verificar se existe a presença de pessoas dentro deste. Quando uma intrusão é corrigida pela ativação do botão “Marcha” esta também é registada no submenu “Avisos” por “Produção Iniciada”.



Figura 4-84: Exemplo do Sub-menu “Alarmes” do setor de fabrico.

4.4.6 Menu “CONTROLO”

Na página “CONTROLO” é apresentada a unidade controlo remota da CFF que pode ser comandada sem o operador necessitar de estar junto da CFF. Como é possível verificar da Figura 4-85, o operador pode efetuar diversas funções de controlo e ainda monitorizar a produção de cada tipo de produto.

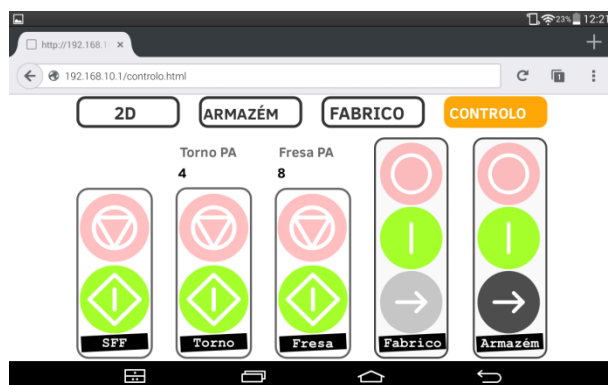


Figura 4-85: Menu “CONTROLO”.

Como é possível verificar estão disponíveis duas caixas de texto designadas por “Torno PA” e “Fresa PA” que apresentam a quantidade de produtos processados. No exemplo dado, foram processados 4 produtos torno e 8 produtos fresa. É de referir que nesta contagem apenas são considerados os produtos que são detetados e colocados na estação de descarregamento.

A partir da unidade de controlo o operador pode efetuar três operações de controlo em cada um dos setores. Como é possível verificar foram desenvolvidas duas unidades de controlo designadas por “Fabricao” e “Armazém”, que possuem as mesmas funcionalidades das unidades de controlo locais instaladas em cada setor.

Os botões “Paragem” (vermelho) permitem efetuar a interrupção dos respetivos setores. Esta função inibe qualquer tarefa a ser executada no setor de armazém ou de Fabricao. Por isso são desativadas todas as tarefas, independentemente do tipo de paletes. Este comando deve ser utilizado quando há a necessidade de efetuar operações de manutenção. Na unidade de controlo local, o botão “Paragem” apenas inibe o carregamento das paletes MP, enquanto que este inibe as tarefas associadas a todas as paletes. Os botões a verde permitem retomar o processo. Quando é efetuado este controlo todas as tarefas são novamente ativadas.

O botão “Prosseguir” (cinza) do “Armazém” é utilizado para indicar ao setor de armazém que este foi recarregado com matérias-primas. Este comando só deve ser executado quando o operador receber um aviso relativo à falta e matérias-primas. Se este comando for efetuado e existirem matérias-primas, as funções do setor de armazém não são afetadas.

O botão “Manutenção” (cinza) do “Fabricao” deve ser utilizado quando alguma das máquinas CNC apresenta uma falha ou aviso. Depois efetuar este comando o operador deve aguardar até que o robô fique imobilizado na posição “home”. De seguida, depois de corrigida a falha o operador deve carregar no botão “Marcha” do setor de fabricao para retomar a produção.

No painel de controlo foram desenvolvidas duas unidades de controlo “Torno” e “Fresa” que permitem iniciar e concluir a produção dos produtos torno e fresa, respetivamente. Quando é

executado o comando “Paragem” as paletes MP deixam de ser carregadas. Se existirem produtos acabados em circulação estes são descarregados depois de processados. O botão “Marcha” destas unidades permite retomar a produção. A unidade de controlo “SFF” executa em simultâneo as funções da unidade “Torno” e “Fresa”.

Como é possível verificar todos os comandos do menu “CONTROLO” estão a verde, o que significa que a produção está a decorrer normalmente. Sempre que é executado um comando o botão pressionado fica com uma cor viva, o que permite ao operador monitorizar o estado da produção e dos setores.

4.4.7 Mensagens escritas – SMS

Uma das funcionalidades mais flexíveis disponibilizadas pelo servidor *web* é o envio de SMS para um telemóvel, com uma mensagem que descreve o tipo de aviso ou evento ocorrido na CFF. Sempre que se verifique um novo aviso nos ficheiros “Avisos.txt” do setor de armazém ou do setor de fabrico, o *raspberry* é responsável por efetuar a leitura do aviso ocorrido e enviar esse aviso para um número de telemóvel que é especificado no ficheiro “send_sms.py” fornecido pelo site “textlocal”. Este serviço não é gratuito, tendo um custo de 0,04 € por cada SMS enviado.

Na Figura 4-86, são apresentados dois exemplos onde são enviadas várias mensagens de texto com o respetivo aviso, à semelhança dos ficheiros “Avisos.txt” do setor de armazém e do setor de fabrico. Para o operador receber estas mensagens, este não necessita de se encontrar conetado à Internet. O objetivo foi desenvolver um sistema de sinalização remoto que fosse robusto e fiável, o que nem sempre é possível quando o acesso à Internet em determinadas zonas ou locais é limitado. Este sistema é uma alternativa ao sistema de sinalização local.

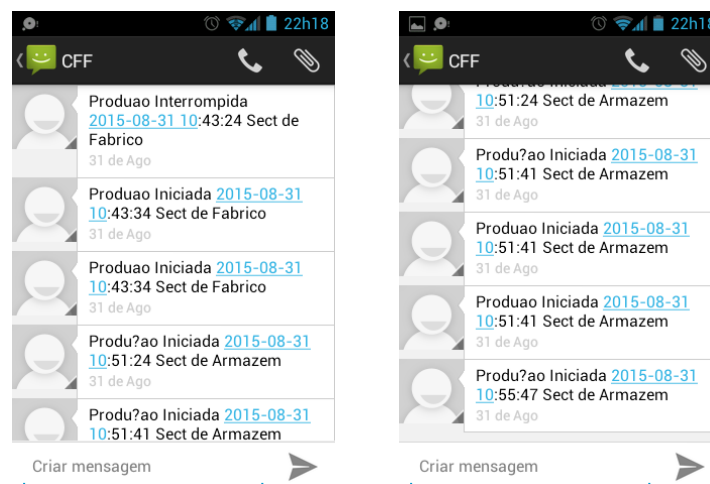


Figura 4-86: Exemplo de SMS enviados.

5. Conclusão e trabalhos futuros

Neste capítulo é apresentado um resumo do trabalho desenvolvido ao longo da dissertação e por último é elaborada uma perspectiva dos trabalhos futuros a desenvolver.

5.1 Conclusão

Da análise do trabalho desenvolvido, todos os objetivos propostos foram conseguidos. O objetivo principal deste trabalho assentou no desenvolvimento de uma CFF segura e autónoma nas tarefas que realiza. A CFF é constituída por três setores, armazém, fabrico e transporte que são sincronizados e controlados a partir de um elemento integrador, que neste caso é Gestor da CFF (PLC).

Os vários softwares desenvolvidos cumprem com as funções para os quais foram projetadas. Quando submetido aos vários testes realizados, como a introdução de peças caídas, a falta de peças nos armazéns, o carregamento/descarregamento de paletes, pode-se verificar o funcionamento pretendido.

No desenvolvimento da CFF foi primordial garantir a segurança dos operadores da célula, bem como, dos equipamentos que a constituem. Neste sentido pretendeu-se, à semelhança da indústria atual, minimizar os riscos que possam comprometer a rentabilidade dos processos da célula. Assim, foi desenvolvido um sistema de segurança que é responsável por supervisionar a ocorrência de intrusões nos setores de fabrico e de armazém, e desta forma garantir a segurança do operador responsável pela CFF.

Um dos aspetos importantes da CFF é o sistema de tolerância a falhas, para que não seja comprometido todo o funcionamento da célula. No setor de fabrico quando se verifica uma falha numa das máquinas CNC apenas as tarefas associadas a essa máquina são desativadas. As restantes tarefas do setor como de toda a célula encontram-se em condições de funcionamento normais. No setor de transporte as paletes com peças caídas são desativadas e supervisionadas regularmente antes de desempenharem qualquer função lhe esteja associada. O sistema de tolerância a falhas revelou-se uma mais valia, pois assegura mais autonomia à CFF perante a ocorrência de falhas ou avarias.

Para o operador controlar e monitorizar a CFF foi desenvolvida uma interface HMI numa página *web*. A partir da página da CFF o operador pode consultar os dados de produção, o desempenho das tarefas realizadas por cada setor, as falhas ocorridas e os alarmes de intrusão. A HMI ainda apresenta as tarefas que estão a ser realizadas em tempo real como também possíveis falhas associadas às paletes no transportador. A página *web* ainda disponibiliza um painel de opções que permite efetuar diferentes ações de controlo remotamente.

A CFF possui um sistema de sinalização remoto que é assegurado pelo envio de mensagens de texto para um telemóvel com a descrição de possíveis falhas detetadas. Este sistema não obriga uma supervisão humana permanente.

5.2 Trabalhos futuros

Apesar dos objetivos propostos terem sido concluídos, é possível melhorar e aperfeiçoar alguns aspetos no sentido de aumentar o desempenho da CFF. De seguida é apresentada uma perspetiva dos trabalhos a desenvolver:

- Instalação de sensores óticos para a deteção de peças caídas no setor de fabrico;
- Desenvolvimento de um setor de armazém destinado a armazenar produtos acabados, caso fosse necessário possuir *stock*;
- Desenvolvimento de um algoritmo para rentabilizar o tempo de paragem do robô do setor de armazém, por exemplo, na organização das matérias-primas para diminuir o tempo de carregamento das paletes;
- Melhoramento da HMI, com mais informação gráfica sobre os sensores, os alarmes e as máquinas CNC;
- Desenvolvimento de um sistema de reconhecimento por visão artificial para a deteção de peças caídas;
- Aumento da variedade dos produtos acabados a produzir.

REFERÊNCIAS

- [1] Groover, Mikell P. (2001) “*Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*”, USA: Prentice Hall.
- [2] Pires, J. Norberto. “*Os desafios da Robótica Industrial*”. [Online]. Disponível em: http://robotics.dem.uc.pt/norberto/publico/robotica_industrial_desafios.pdf (Data de consulta: 28/07/2015)
- [3] Rembold, U. Nnaji, B.O. Storr, A. (1993) “*Computer Integrated Manufacturing and Engineering*”, UK: Addison-Wesley.
- [4] Groover, Mikell P. (1987) “*Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*”, USA: Prentice Hall International Editions.
- [5] Narayan K. Lalit, Rao K. Mallikarjuna, Sarcar M. M. M. (2008) “*Computer Aided Design and Manufacturing*”, India: Prentice Hall. Disponível em: http://books.google.pt/books?id=zXdivq93WIUC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (Data de consulta: 07/01/2015)
- [6] A. Ferrolho, Apontamentos das aulas de Robótica Industrial, Viseu: DEE-ESTGVIPV.
- [7] Haideri Farasdak (2008) “*CAD/CAM Automation*”, India: Nirali Prakashan [Online]. Disponível em: <http://books.google.pt/books?id=hEkjURbiN7MC&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q&f=false> (Data de consulta: 07/01/2015)
- [8] “*Flexible manufacturing system*” [Online] Disponível em: http://www.nuigalway.ie/staff-sites/david_osullivan/documents/unit_15_flexible_manufacturing_systems.pdf (Data de consulta: 15/12/2014)
- [9] “*Laboratory of flexible manufacturing systems*” [Online] Disponível em: http://www.stuba.sk/english/science-and-research/leading-research-centres-and-laboratories/laboratory-of-flexible-manufacturing-systems.html?page_id=7855 (Data de consulta: 15/12/2014)
- [10] “*Why You Should Consider Trochoidal Milling*” [Online] Disponível em: <http://info.gosiger.com/news/bid/152475/Why-You-Should-Consider-Trochoidal-Milling> (Data de consulta: 20/12/2014)
- [11] “*EMCO Group Concept mill 250*” [Online] Disponível em: <http://www.emco-world.com/en/products/industrial-training/machines/milling/cat/26/d/2/p/1000007,26/pr/concept-mill-250/view/3.html> (Data de consulta: 21/12/2014)

- [12] "*Hyundai WIA machine america corp - 150 Series*" [Online] Disponível em: <https://lh5.googleusercontent.com/-8hC-3L12Zc4/UfFv-W6WzAI/AAAAAAAAAB3g/fY43o-CL-aA/s640/C-axis.jpg> (Data de consulta: 19/12/2014)
- [13] "*Machine tool sales - EMCO Concept Mill 155 5-axis*" Disponível em: http://www.machinetoolsalesonline.com/uploads/322/IMG_2399.jpg (Data de consulta: 19/12/2014)
- [14] "*PM Production Machining - The Process Control Imperative*" [Online] Disponível em: http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/PM0710_TB_TheProcessControl_a.jpg (Data de consulta: 19/12/2014)
- [15] "*Food production daily*" [Online] Disponível em: http://www.foodproductiondaily.com/var/plain_site/storage/images/publications/food-beverage-nutrition/foodproductiondaily.com/packaging/traceability-fuels-2bn-machine-vision-market/8396272-1-eng-GB/Traceability-fuels-2bn-machine-vision-market_strict_xxl.jpg (Data de consulta: 19/12/2014)
- [16] "*Group Technology and FMS*" [Online] Disponível em: http://www.revotechnologies.net/uploads/1/6/0/7/16078520/unit_iii-acim.pdf (Data de consulta: 01/02/2015)
- [17] "*Europac 3d dimensional- Modular CMM Fixturing System*" [Online] Disponível em: http://europac3d.com/wp-content/uploads/2012/08/pic_entry23.jpg (Data de consulta: 19/12/2014)
- [18] "*What is CAD/CAM?*" [Online] Disponível em: <http://www.autodesk.com/solutions/cad-cam> (Data de consulta: 27/07/2015)
- [19] "*The ABB IRB 140*" [Online] Disponível em: <https://www.robots.com/articles/viewing/the-abb-irb-140> (Data de consulta: 03/08/2015)
- [20] "*Technical data for the IRB 140 industrial robot*" [Online] Disponível em: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-140/irb-140-data> (Data de consulta: 03/08/2015)
- [21] "*IRB 140 Industrial Robot*" [Online] Disponível em: https://library.e.abb.com/public/98ba43a906331fec48257c6f00374818/PR10031EN%20R15_En.pdf (Data de consulta: 04/08/2015)
- [22] "*Robótica Industrial*" [Online] Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~aml/maic_files/cindin.pdf (Data de consulta: 08/08/2015)
- [23] "*S4C Industrial Robot Controller*" [Online] Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/0daaf474f13029a9c1256b1100517f9a/s4c%20brochure.pdf> (Data de consulta: 08/08/2015)

REFERÊNCIAS

- [24] "*ABB S4C Controller*" [Online] Disponível em: <https://www.robots.com/abb/controller/s4c> (Data de consulta: 10/08/2015)
- [25] "*CONCEPT MILL 155*" [Online] Disponível em: http://www.iberdidac.org/news/orpi/Concept%20MILL%20155_ESP%20orpi.pdf (Data de consulta: 11/08/2015)
- [26] "*UF2 NANO TECNOLOGIA*" [Online] Disponível em: <http://jesushuamani.blogspot.pt/> (Data de consulta: 11/08/2015)
- [27] "*CONCEPT TURN 55*" [Online] Disponível em: <http://www.bromi.se/uploads/extrainfo83.pdf> (Data de consulta: 12/08/2015)
- [28] "*PCRobotics*" [Online] Disponível em: <http://www.pcrobotics.co.uk/refurb.html#> (Data de consulta: 13/08/2015)
- [29] "*IRB 1410*" [Online] Disponível em: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1410/irb-1410-data> (Data de consulta: 13/08/2015)
- [30] "*ABB IRB 1400*" [Online] Disponível em: <https://www.robots.com/abb/irb-1400> (Data de consulta: 13/08/2015)
- [31] "*SIMATIC S7-1200*" [Online] Disponível em: <http://www.paratrasnet.ro/pdf/automatizari-industriale/S7-1200.pdf> (Data de consulta: 16/08/2015)
- [32] "*Raspberry Pi 2*" [Online] Disponível em: <http://www.inmotion.pt/pt/boards-and-kits/1151-raspberry-pi-2.html> (Data de consulta: 20/08/2015)
- [33] "*Adaptador USB Wireless N de Alto Ganho de 150Mbps*" [Online] Disponível em: http://www.tp-link.pt/products/details/cat-11_TL-WN722N.html (Data de consulta: 20/08/2015)
- [34] "*Roteador Wireless N 300Mbps*" [Online] Disponível em: http://www.tp-link.pt/products/details/cat-9_TL-WR841N.html (Data de consulta: 20/08/2015)

